Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 6, Feb.-Mar. 2025, p. 713-732

The Effect of Different Tillage Methods and Application of Plant Residues on Yield, Protein and Nitrogen Percentage of Triticale Plant (X *Triticosecale* Wittmack) and Physical and Chemical Indicators of Soil

S. Hosseinzadeh[1], E. Fateh[2*], A. Aynehband[3], M. Farzaneh[4], J. Habibi Asl[5]

1, 2, 3 and 4- Ph.D. Student of Agroecology, Associate Professor, Professor and Assistant Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetic, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: e.fateh@scu.ac.ir)
5- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Khuzestan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Ahvaz, Iran

Received: 08-05-2024 Revised: 09-12-2024 Accepted: 01-01-2024 Available Online: 01-01-2024	**How to cite this article:** Hosseinzadeh, S., Fateh. F., Aynehband, A., Farzaneh, M., & Habibi Asl, J. (2025). The effect of different tillage methods and application of plant residues on yield, protein and nitrogen percentage of triticale plant (X *Triticosecale* Wittmack) and physical and chemical indicators of soil. *Journal of Water and Soil, 38*(6), 713-732. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2025.89709.1433

Introduction

Tillage is an important component of soil management that affects the production of crops. Maintaining and improving the quality of the soil is a basic requirement to ensure the sustainability of the ecosystem. This experiment was conducted in order to investigate the effect of different tillage methods and the use of plant residues on the yield, protein and nitrogen percentage of triticale plant and physical and chemical indicators of the soil.

Materials and Methods

The experiment was carried out as split plots based on a randomized complete block design with three replications at Shahid Chamran University of Ahvaz during 2023-2024. The main factor including different methods of tillage at three levels (conventional tillage, reduced tillage and no tillage) and the sub factor also including 5 levels of plant residue application (without residues (control), wheat residues, mung bean, sesame and half of wheat residues + half of residues Mung bean) were considered. The amount of residues used for each plot was approximately 30% of the biological yield of the product, which was considered to be 3, 1.5 and 1 ton.ha^{-1} for wheat, sesame and mung bean, respectively. At the end of the experiment yield and yield components, seed nitrogen and protein of triticale plant and physical characteristics (bulk density, percentage of porosity) and chemical (pH, EC, organic carbon content, nitrogen) soil properties were measured. All statistical calculations were made using SAS 9.3 statistical software and for the LSD test was used to compare the means at a probability level of 5%.

Results and Discussion

The interaction of tillage treatments and the use of plant residues showed that the highest grain yield was equal to 8.6 ton.ha^{-1} from the treatment of reduced tillage and the use of Mung bean residues, and the lowest value obtained was related to the effect of the treatment conventional tillage and no residues (control) with 3.5 ton.ha^{-1}. The grain yield in the reduced tillage method was 12.5% and 7.6% higher than the conventional tillage and no tillage methods. The reduced tillage method resulted in a 32.2% increase in seed protein and a 32% increase in

https://doi.org/10.22067/jsw.2025.89709.1433

seed nitrogen compared to conventional tillage. The results also indicated a significant interaction effect between tillage treatments and residue application on grain yield ($p < 0.01$). Additionally, the interaction between tillage and residue application had a significant effect on soil bulk density ($p < 0.01$). The lowest bulk density (1.3 $g.cm^{-3}$) was observed in the conventional tillage treatment combined with wheat and mung bean residues, with this combination falling within the same statistical group. The highest bulk density (1.75 $g.cm^{-3}$) was obtained from the no-tillage treatment and the use of NO residues (Control). Based on the obtained results, the interaction effect of tillage treatments and the use of residues on soil organic matter, soil organic carbon and nitrogen soil ($p<0.05$). The interaction between the effects of tillage and the use of residues showed that the highest soil organic matter (1.53%) was from the treatment of reduced and the use of wheat residues.

Conclusion

The results showed that tillage methods and the use of plant residues, in addition to affecting the percentage of nitrogen and protein of triticale seeds, also affected the physical and chemical indicators of the soil. The changes related to the physical and chemical indicators of the soil in the method No tillage are more than the two methods of reduced tillage and conventional tillage, and the improvement of these characteristics has been limited even at this time. Overall, from the point of view of soil protection, the results of this experiment clearly show the superiority of conservation tillage methods compared to conventional tillage methods. Sustainable agriculture aims to achieve optimal yields while preserving environmental structure and minimizing the adverse impacts of agricultural activities. One of the key challenges in sustainable agriculture is the lack of organic matter and its associated consequences. Implementing conservation tillage and managing plant residues-critical elements of agricultural production-can help address this issue. By improving soil quality, these practices contribute to increased productivity in farming.

Acknowledgement

We would like to thank the Research and Technology Vice-Chancellor of Shahid Chamran University of Ahvaz for funding this research, which is part of the research contract SCU.AA1400.309.

Keywords: Organic matter, Organic carbon content, Soil fertility, Soil health, Sustainable agriculture

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۸، شماره ۶، بهمن-اسفند ۱۴۰۳، ص. ۷۳۲-۷۱۳

تأثیر روش‌های خاک‌ورزی وکاربرد بقایای گیاهی بر عملکرد، درصد پروتئین و نیتروژن گیاه تریتیکاله (X *Triticosecale* Wittmack) و شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

سهیلا حسین‌زاده [۱]- اسفندیار فاتح [۲]*- امیر آینه‌بند [۳]- معصومه فرزانه [۴]- جعفر حبیبی‌اصل [۵]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۲

چکیده

خاک‌ورزی جزء مهمی از مدیریت خاک محسوب می‌شود که بر تولید گیاهان زراعی تأثیر می‌گذارد. این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی وکاربرد بقایای گیاهی بر درصد پروتئین و نیتروژن گیاه تریتیکاله و شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی خاک انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار درمزرعه آموزشی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه شهید چمران اهواز در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ اجرا گردید. فاکتور اصلی، شامل روش‌های خاک‌ورزی در سه سطح (خاک‌ورزی مرسوم، کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) و فاکتور فرعی نیز شامل ۵ سطح کاربرد بقایای گیاهی (بدون کاربرد یا افزودن بقایا (شاهد)، بقایای گندم، لوبیا چشم بلبلی، کنجد و نصف بقایای گندم + نصف بقایای لوبیا چشم بلبلی) بود. ملاک انتخاب بقایا کشت رایج منطقه و میزان بقایای مورد استفاده برای هر کرت، تقریبا ۳۰٪ عملکرد کاه و کلش و بیولوژیک محصول بود که بر این اساس برای گندم، کنجد و لوبیا چشم بلبلی به‌ترتیب ۳، ۱/۵ و ۱ تن در هکتار در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد عملکرد دانه در روش کم‌خاک‌ورزی ۱۲/۵ درصد و ۷/۶ درصد بیشتر از روش‌های مرسوم و بی‌خاک‌ورزی بود. همچنین روش کم‌خاک‌ورزی ۳۲/۲ درصد افزایش پروتئین دانه و ۳۲ درصد افزایش نیتروژن دانه نسبت به روش خاک‌ورزی مرسوم نشان داد، نتایج نشان داد اثر متقابل تیمارهای خاک‌ورزی و کاربرد بقایا بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد. همچنین اثر متقابل خاک‌ورزی و کاربرد بقایا بر صفت جرم مخصوص ظاهری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و بر روی صفت ماده آلی و کربن آلی و نیتروژن خاک در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. نتایج نشان داد، بیشترین ماده آلی خاک (۱/۵۳ درصد) از تیمار کم‌خاک‌ورزی و با کاربرد بقایای گندم بود. با توجه به اینکه اهداف کشاورزی پایدار در راستای تولید عملکرد مطلوب و در عین حال حفظ ساختار محیط و کمینه‌سازی پیامدهای منفی فعالیت‌های کشاورزی بوده و کمبود مواد آلی و تبعات آن یکی از مشکلات اصلی در کشاورزی پایدار می‌باشد، اجرای خاک‌ورزی حفاظتی و مدیریت بقایای گیاهی که یکی از ارکان اصلی تولید در کشاورزی است با بهبود کیفیت خاک، افزایش بهره‌وری در تولید را در پی خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: حاصل‌خیزی خاک، سلامت خاک، کشاورزی پایدار، ماده آلی، محتوی کربن آلی

۱، ۲، ۳ و ۴- به‌ترتیب دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشیار، استاد و استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: e.fateh@scu.ac.ir)

۵- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران
https://doi.org/10.22067/jsw.2025.89709.1433

مقدمه

خاک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ارکان طبیعت و عوامل تولید به شمار می‌رود که تجدیدناپذیر بوده و زندگی بشر به آن وابسته است (Arriaga *et al.*, 2017). به‌دلیل افزایش شدید جمعیت کره‌ی زمین، بشر به‌منظور تأمین تقاضای جمعیت جوامع خود، فشار زیادی به خاک وارد نموده است که فرسایش، آلودگی و تخریب خاک و کاهش کیفیت آن را به همراه داشته است (O’Brien & Daigh, 2019). در حال حاضر، خاک‌های قابل کشت به‌دلیل شیوه‌های کشت ناپایدار در معرض تهدیدات قابل‌توجهی قرار دارند و مدیریت پایدار و محتاطانه خاک به‌منظور دستیابی به تولید کشاورزی پایدار امری ضروری و اجتناب ناپذیر است (Houshyar & Esmailpour, 2020). خاک به‌عنوان بستر کشت گیاهان و مخزن عناصر غذایی معدنی، مهم‌ترین عامل تولید گیاهان می‌باشد و حفظ کیفیت آن برای تولید پایدار محصولات کشاورزی ضروری است (Castellini & Domenico, 2012). مصرف بی‌رویه سموم و کودهای شیمیایی در کشاورزی بر روی محیط‌زیست و به‌ویژه سلامت انسان‌ها اثر گذاشته و آلودگی منابع آب، خاک و غذا را به‌دنبال دارد. این مسئله موجب گردیده تا صاحب نظران توسعه پایدار، مصرف انرژی در کشاورزی را به‌عنوان یکی از چالش‌های مهم تهدید کننده محیط‌زیست مورد توجه قرار دهند، مصرف انرژی در تولید محصولات زراعی و باغی رابطه مستقیمی با سیستم‌های خاک‌ورزی کشاورزی دارد (Bahrami, 2019). از آنجا که عملیات خاک‌ورزی که یکی از اجزای اصلی سیستم‌های تولیدات کشاورزی است، با اثرات سودمند بر خصوصیات زیستی، فیزیکی و شیمیایی خاک می‌تواند تأثیر مثبت بر تولید محصولات زراعی داشته باشد، بنابراین باید بر سیستم‌های خاک‌ورزی و تأثیرات آنها بر سلامت خاک تمرکز شود. شدت خاک‌ورزی می‌تواند تا حد زیادی بر خصوصیات خاک و عملکرد گیاه تأثیر بگذارد. این امر به‌ویژه در خاک‌هایی که مواد آلی کمی دارند، بسیار مهم می‌باشد (Nouraein *et al.*, 2019).

فشار بر اراضی کشاورزی برای برداشت حداکثر سود، بدون توجه به برگرداندن حداقل مواد آلی برای پایداری فیزیکی و شیمیایی خاک، سبب کاهش ماده آلی در خاک‌ها و در نتیجه کاهش باروری خاک می‌شود که این موضوع در اکثر مناطق، مشکل اصلی خاک‌های کشور می‌باشد (Asadi *et al.*,2016). امروزه به دلیل به مخاطره افتادن پایداری سیستم‌های تولید کشاورزی و نیز افزایش هزینه‌های تولید، خاک‌ورزی حفاظتی که نوعی روش مدیریتی بوم‌نظام‌های کشاورزی در جهت بهره‌وری، پایداری و نیز بالا بردن منافع و امنیت غذایی و در عین حال، حفاظت منابع و محیط است، مطرح شده است (Sharma, Thind, Sidhu, Jat & Parihar,2019).

از آن‌جمله می‌توان به خاک‌ورزی حفاظتی (Zhang *et al.*, 2015)، حفظ و کاربرد بقایای گیاهی (Devi, Gupta, Jat, & Parmar, 2017)، کاربردکود دامی و آیش زمین‌های کشاورزی (Liu, Chang, Stoorvogel, Verburg & Sun, 2012) در جهت تبدیل شیوه‌های متداول کشاورزی به حفاظتی اشاره کرد. حداقل بهم خوردگی مکانیکی خاک، پوشش دائمی خاک با مواد آلی و تنوع گیاهی، سه اصل اساسی کشاورزی حفاظتی می‌باشد.

کشاورزی حفاظتی از طریق مدیریت تلفیقی منابع بیولوژیکی، آب و خاک در ترکیب با ورودی‌های خارجی به حفظ، بهبود و استفاده مؤثرتر از منابع طبیعی کمک می‌کند. بنابراین نوع خاک‌ورزی و استفاده از بقایای موجود در سطح خاک از مهمترین عوامل موفقیت در کشاورزی به شمار می‌آید که هر دو این عوامل بر کمیت و کیفیت عملکرد گیاهان زراعی تأثیر بسزایی دارند.

در این راستا شیوه‌های مدیریتی مختلفی برای حفظ سلامت و کیفیت خاک ایجاد شده است. تکنیک‌های خاک‌ورزی حفاظتی شامل روش‌های مختلفی مانند بی خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی می‌باشد. از جمله مزایای خاک‌ورزی حفاظتی، جلوگیری از فشرده شدن لایه سطحی خاک، جلوگیری از تبخیر، حفظ و نگهداری رطوبت خاک، افزایش مقدار مواد آلی(Cooper *et al.*, 2020)، جلوگیری از فرسایش در اراضی دیم،کاهش هزینه‌ها،کاهش مصرف سوخت و احیاء اراضی کم بازده را می‌توان بیان کرد (Zhang, Wang, Fu, & Zhao, 2018) که با بهبود ساختمان خاک (Verhulst, 2010)، تأمین ذخیره مواد غذایی و افزایش دسترسی به عناصر غذایی، جلوگیری از فرسایش خاک و افزایش نفوذپذیری (Hobbs, Sayre & Gupta, 2008) وضعیت خاک را از نظر فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک بهبود می‌بخشند.

ماده آلی خاک تنها منبع کربن و انرژی لازم برای ادامه فعالیت ریزجانداران تجزیه‌کننده و هتروتروف خاک است و هر گونه کاهش در ورود مواد آلی به خاک موجب اختلال در فعالیت این موجودات و کاهش تجزیه مواد آلی می‌شود. ماده آلی با افزایش پایداری خاکدانه‌ها به‌خصوص در قسمت سطحی خاک، مانع از پراکندگی ذرات خاک در طی وزش باد و جریان یافتن آب می‌شود (Nunes *et al.*, 2018). اردل و بریک (Erdel & Barik, 2023) گزارش دادند که استفاده از بقایای گیاهی و روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی باعث افزایش ماده آلی، پایداری خاک‌دانه‌ها و فسفر قابل دسترس گیاه شد. فینک و همکاران (Fink *et al.*, 2016) در بررسی اثر سه ساله خاک‌ورزی حفاظتی و خاک‌ورزی مرسوم بر جذب و رهاسازی فسفر در خاک‌های زراعی برزیل گزارش کردند که روش خاک‌ورزی مرسوم نسبت به بی‌خاک‌ورزی در پایان سال سوم سبب افزایش جذب و رها سازی فسفر به میزان ۶ درصد شد. آنها معتقدند اعمال خاک‌ورزی حفاظتی

سبب غنی شدن مواد آلی خاک می‌شود و مواد آلی با فسفر پیوند برقرار کرده و فراهمی زیستی فسفر در خاک افزایش یافته و از هدرروی فسفر جلوگیری می‌کند.

افضلی گروه و همکاران (Afzali Groh *et al.*,2018) تأثیر خاک‌ورزی حفاظتی و مدیریت بقایای گندم بر برخی خصوصیات خاک و عملکرد ذرت را مورد بررسی قراردادند و گزارش کردند که استفاده ازسیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گندم باعث تغییر در مقدار یا درصد کربن آلی خاک در طی آزمایش شد. به‌طوری‌که کربن آلی خاک در سال سوم نسبت به سال اول به‌ترتیب، ۱۳، ۱۹ و ۱۹ درصد افزایش نشان داد، همچنین کم‌خاک‌ورزی با چیزل پکر در سال سوم آزمایش با حفظ ۷۵ درصد بقایا، باعث افزایش ۸ درصدی کربن آلی خاک گردید.

میرزاوند (Mirzavand, 2018) با بررسی تغییرات ماده‌آلی خاک و میزان عملکرد محصول در دو سامانه خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم با اجرای تناوب گندم-ذرت در منطقه زرقان فارس گزارش داد که حفظ بقایای گیاهی، ضمن بهبود درصد ماده‌آلی خاک نقش مثبتی نیز در حفظ پتانسیل عملکرد محصول دارد. نتایج این پژوهش نشان داد که حفظ بقایای گیاهی در تمام سامانه‌های خاک‌ورزی مورد ارزیابی، ضمن بهبود درصد ماده‌آلی خاک نقش مثبتی نیز در حفظ پتانسیل عملکرد محصول دارد. به‌طور کلی و با توجه به اینکه حفظ بقایای گیاهی موجب افزایش درصد ماده آلی خاک می‌شود، این کاربرد توصیه شده است. در ایران به علت رعایت نکردن تناوب، انجام کشت‌های متراکم تک محصولی، عدم مدیریت صحیح ماده آلی و خاک‌ورزی شدید در هنگام کاشت محصول، بیشتر خاک‌های کشاورزی احتمالاً فاقد ساختمان مناسب و دچار نوعی فشردگی است. بنابرین تغییر روش خاک‌ورزی از روش‌های مرسوم به روش‌های حفاظتی اجتناب ناپذیر است. در خاک‌ورزی حفاظتی با کم کردن عملیات خاک‌ورزی و حفظ مقدار کافی بقایای گیاهی در سطح خاک، ضمن بهبود ساختمان خاک و افزایش راندمان آب، نیروی کار، انرژی مصرفی و هزینه تولید کاهش می‌یابد. نظر به اهمیت حفظ منابع تولید به ویژه خاک در طول مراحل تولید پایدار محصول، مدیریت بقایای گیاهی و کاهش شدت خاکورزی به ضرورت احساس می‌شود. بنابراین با توجه مطالب ذکر شده و در راستای تامین عناصر غذایی و کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی، توجه جدی به حفظ کیفیت خاک بعنوان مولفه اصلی در کشاورزی پایدار و با فرض اینکه مدیریت خاک‌ورزی و بقایای گیاهی، عملکرد و اجزای عملکرد تریتیکاله را تحت‌تأثیر قرار خواهد داد و بقایای اعمال شده در مقدار ماده آلی خاک مؤثر بوده و انجام عملیات خاک‌ورزی حفاظتی و مدیریت بقایای گیاهی می‌تولند موجب افزایش محتوی ماده آلی خاک و بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک گردد این آزمایش با هدف بررسی تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی وکاربرد بقایای گیاهی بر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک در شرایط آب و هوایی اهواز، انجام گردید.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی روش‌های خاک‌ورزی بر عملکرد و درصد نیتروژن و پروتئین دانه گیاه تریتیکاله و شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، یک آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۳- ۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. فاکتور اصلی روش‌های مختلف خاک‌ورزی در سه سطح شامل (T1: خاک‌ورزی مرسوم،T2: کم‌خاک‌ورزی و T3: بی خاک‌ورزی) و فاکتور فرعی کاربرد بقایای گیاهی در پنج سطح شامل (M1: شاهد (بدون کاربرد یا افزودن بقایای گیاهی)، M2: کاربرد بقایای گندم،M3: کاربرد بقایای لوبیا چشم بلبلی، M4: کاربرد بقایای کنجد و M5: کاربرد نصف بقایای گندم + نصف بقایای لوبیا چشم بلبلی) بود. کشت قبلی گندم بود که تمامی بقایا قبل از انجام تهیه زمین و اجرای نقشه کشت از سطح مزرعه آزمایشی جمع‌آوری شد. بقایای مورد استفاده در طرح آزمایشی با توجه به زمان برداشت هر کدام از آنها از سطح مزارع استان جمع‌آوری و میزان بقایای در نظر گرفته برای هر کرت، تقریبا ۳۰٪ عملکرد کاه و کلش و بیولوژیک محصول بوده که بر این اساس برای گندم، کنجد و لوبیا چشم بلبلی به‌ترتیب ۳، ۱/۵ و ۱ تن در هکتار می‌باشد. با توجه به مساحت هر کرت فرعی که ۶ متر مربع بود، به‌ترتیب مقادیر ۱۸۰۰، ۹۰۰ و ۶۰۰ گرم از بقایای مورد نظر استفاده شد. از نظر نحوه کاربرد بقایا در زمان تهیه کرت‌های فرعی با توجه به نقشه کشت بقایای مورد نظر به‌صورت پابیل با خاک مخلوط شدند، جهت اعمال تیمار خاک‌ورزی مرسوم از گاوآهن برگردان‌دار به همراه دو دیسک و ماله استفاده شد. در تیمار کم‌خاک‌ورزی فقط از دو بار دیسک استفاده گردید و در تیمار بی‌خاک‌ورزی کشت مستقیم بذر بدون هیچ‌گونه عملیات خاک‌ورزی انجام شد. رقم تریتیکاله کاشته شده رقم، سناباد بود. بذر رقم مورد نظر از مؤسسه بذر و نهال کرج تهیه و در تاریخ ۲۸ آبان ۱۴۰۲ با توجه به نقشه کشت، عملیات کاشت تریتیکاله با استفاده از دست و به میزان ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار برای هر کرت محاسبه و انجام پذیرفت. هر تیمار در ۳ تکرار و هر تکرار شامل ۱۵ واحد ازمایشی بود که در مجموع تعداد ۴۵ کرت در نظر گرفته شد. نیازهای کودی خاک با توجه به نتایج آزمون خاک و دستورالعمل فنی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان (۱۳۸۶) تأمین شد (جدول ۱). از نظرمیزان کود مصرفی تمامی کود فسفات (حدود ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل) و پتاس (حدود ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم) و یک سوم کود اوره (نیترات آمونیوم به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) در زمان کاشت به‌عنوان کود پایه و مابقی کود اوره در دو مرحله (پنجه‌زنی

و اوایل گلدهی) به‌صورت سرک (هر مرحله ۱۰۰کیلوگرم در هکتار) با دست در مزرعه پخش و دو مرحله نیز از کود کم مصرف هوموکسال ۹۵٪ مولتی‌کم که یکی از کودهای با اهمیت در بخش مصرف در گیاهان بوده و در واقع از ترکیبات فعال مواد آلی خاک می‌باشد (Sanchez Sanchez *et al.*, 2006) که نوعی ترکیب پلیمری طبیعی به همراه مواد آلی است و در اثر پوسیدگی مواد آلی خاک، پیت، لیگنین و غیره به‌وجود می‌آید. اسیدهیومیک، مخلوط متراکم و ترکیب با اسیدهای آلی آروماتیک بوده و دارای نیتروژن، فسفر، گوگرد با درصدهای مختلف و برخی عناصر نظیر کلسیم، منیزیم، روی، مس و غیره است و به‌صورت محلول‌پاشی و نیز خاک کاربرد استفاده می‌شود (Ahmad-Mayi, 2014) تهیه این کود از شرکت توسعه و بهبود نهاده‌های کشاورزی پارس یزد به‌عنوان واردکننده این کود کم‌مصرف بود و به‌صورت محلول‌پاشی همراه آب آبیاری (به میزان یک کیلوگرم در هکتار) در کرت‌ها استفاده شد. این کود کم‌مصرف شامل ۴۸ ٪ اسید هیومیک و ۲۵ ٪ اسید فولویک و عناصر کم‌مصرف روی، منگنز، بور و مس بصورت کلات کاملا پایدار و محلول در آب می‌باشد.

سایر عملیات زراعی شامل آبیاری کرتی و وجین علف‌های هرز بطور یکسان برای تمامی کرت‌ها اعمال شد. همچنین در طول اجرای آزمایش از هیچ گونه کود شیمیایی، علفکش و یا آفت‌کش شیمیایی استفاده نشد. در پایان اجرای آزمایش عملکرد و نیتروژن و پروتئین دانه گیاه تریتیکاله و خصوصیات فیزیکی (جرم مخصوص ظاهری، حقیقی، درصد تخلخل) و شیمیایی (pH، قابلیت قابلیت هدایت الکتریکی، کربن آلی، نیتروژن) خاک محاسبه شد، در زمان برداشت که در ۱۴ اردیبهشت ۱۴۰۳ و به صورت یکسان برای کلیه تکرارها صورت گرفت، بوته‌های تریتیکاله از مساحت یک متر مربع با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای با داس بریده و برداشت شدند. در این پژوهش بافت خاک به روش هیدرومتری براساس قانون استوکس با ۵ قرائت ، تعیین pH در عصاره اشباع خاک با استفاده از دستگاه pH متر و قابلیت هدایت الکتریکی خاک در عصاره گل اشباع خاک با استفاده از دستگاه EC متر (Page *et al.*, 1982)، اندازه گیری فسفر قابل جذب خاک به روش اولسون (۱۹۵۴) و قرائت با دستگاه اسپکتوفتومتر، اندازه گیری پتاسیم قابل جذب خاک از روش جکسون و قرائت با دستگاه فلم فتومتر، تعیین محتوای کربن آلی خاک از روش اکسایش با دی کرومات (Walkly & Black, 1934) ، محاسبه ماده آلی خاک از معادله زیرصورت که با استفاده از کربن آلی، میزان ماده آلی محاسبه شد. در این فرمول، عدد ۱/۷۲۴ به این علت است که ۵۸ درصد مواد آلی از کربن آلی تشکیل می شوند.

$$\%OM = 1.724 \times \%OC$$

جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه و پارافین، وزن مخصوص حقیقی خاک به روش استوانه مدرج، در صد تخلخل خاک نیز از معادله زیر محاسبه شد (Bay Bordi, 1993).

$$F=(1-BD/SD)\times 100$$

در این رابطهF درصد تخلخل خاک، BD جرم مخصوص ظاهری خاک و واحد آن گرم بر سانتی‌متر مکعب، و SD جرم مخصوص حقیقی خاک و واحد آن گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد. تعیین میزان نیتروژن خاک و دانه با استفاده از روش هضم تر با دستگاه کجلدال انجام و میزان پروتئین دانه به‌صورت درصد نیتروژن در ماده خشک دانه ضرب در ضریب ثابت ۵/۸ محاسبه گردید.

کلیه محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.3 انجام و برای مقایسه میانگین‌ها هم از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد استفاده گردید.

نتایج و بحث

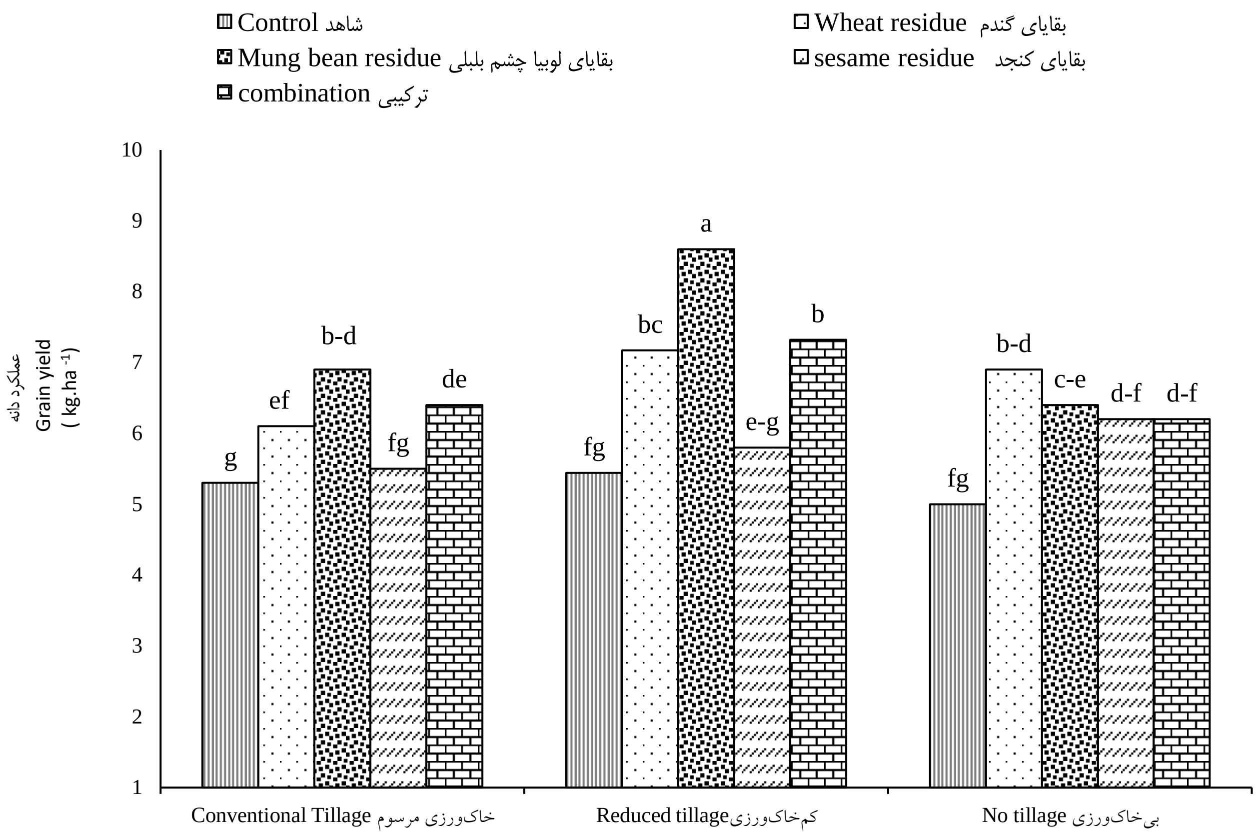
عملکرد دانه

عملکرد دانه تریتیکاله به‌طور معنی‌داری ($p\leq0.01$) تحت تأثیر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی، بقایا و بر هم‌کنش اثرات خاک‌ورزی و کاربرد بقایا قرار گرفت (جدول ۲). بررسی برهم‌کنش اثرات خاک‌ورزی و کاربرد بقایا نیز نشان داد بیشترین عملکرد دانه (۸/۶ تن در هکتار) مربوط به تیمار کم‌خاک‌ورزی با کاربرد بقایای لوبیا چشم بلبلی و کمترین عملکرد (۵ تن در هکتار) از تیمار بی‌خاک‌ورزی و عدم کاربرد بقایا (شاهد) به‌دست آمد (جدول ۴ شکل ۱).

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک محل آزمایش قبل از کاشت

Table 1- Soil analysis results of the test site before planting

عمق خاک Soil depth(cm)	بافت خاک Soil texture	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر P (mg.kg^{-1})	پتاسیم K (mg.kg^{-1})	pH	قابلیت قابلیت هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1})	ماده آلی Organic matter (%)
0-30	رسی لومی Loamy clay	0.1	14.4	144	7.8	1.24	0.3



شکل ۱- مقایسه میانگین برهم‌کنش اثرات خاک‌ورزی و پخش بقایا بر عملکرد دانه

Figure 1- Comparison of the average interaction between the effects of tillage and residue spreading on grain yield

نتایج مقایسات میانگین نشان داد که بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار کم‌خاک‌ورزی (۶/۸۶ تن در هکتار) و کمترین عملکرد دانه مربوط به تیمار خاک‌ورزی مرسوم (۶/۰۴ تن در هکتار) بود. عملکرد دانه در روش کم‌خاک‌ورزی به‌ترتیب ۱۲/۵ درصد و ۷/۶۳ درصد بیشتر از روش‌های خاک‌ورزی مرسوم و بی خاک‌ورزی بود. اثر اعمال کاربرد بقایا نشان داد که بیشترین عملکرد (۷/۳ تن در هکتار) از تیمار کاربرد بقایای لوبیا چشم بلبلی و کمترین (۵/۴ تن در هکتار) از تیمار بدون کاربرد بقایا (شاهد) بدست آمد (جدول ۳).

نوع عملیات خاک‌ورزی بر نحوه تأثیر شخم بر رشد ریشه، میزان آب در دسترس و اندازه خاک‌دانه‌های لایه متراکم خاک و مصرف کودهای شیمیایی تأثیرگذار است. گوپتا و همکاران (Gupta *et al,* 2016) در بررسی اثر متقابل مدیریت بقایای گیاهی و کوددهی فسفر بر روی عملکرد گندم و سلامت خاک با حفظ بقایای برنج–گندم گزارش نمودند حفظ بقایا عملکرد را در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی به علت شرایط مطلوب ایجاد شده در این روش خاک‌ورزی و به تبع آن بهبود حفاظت از آب و حفظ رطوبت مطلوب، جرم مخصوص ظاهری کمتر، تجمع بهتر میکروارگانیسم‌های مفید خاک در ناحیه ریشه و بازیافت مؤثرتر عناصر غذایی به‌دلیل افزایش کربن آلی خاک بهبود می‌بخشد که با نتایج حاصل از این آزمایش هم‌خوانی دارد. نتایج ضد و نقیض دیگری نیز در پژوهش‌های مختلف در خصوص تأثیر روش‌های حفاظتی گزارش شده است، اسنسو و همکاران (Asenso *et al.,* 2018) اثر روش‌های خاک‌ورزی برخواص شیمیایی خاک و عملکرد ذرت در جنوب چین را در طی سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ مورد بررسی قرار دادند و گزارش نمودند عملکرد ذرت در روش بی‌خاک‌ورزی نسبت به روش‌های دیگر کاهش یافت، بر اساس گزارش آن‌ها در طی دو سال آزمایش وزن هزار دانه، ماده خشک تولیدی، عملکرد دانه و شاخص برداشت در روش بی‌خاک‌ورزی نسبت به روش‌های دیگر کاهش یافت.

جدول ۲- میانگین مربعات اثرات خاک‌ورزی و پخش بقایا بر عملکرد، درصد پروتئین و نیتروژن دانه گیاه تریتیکاله و شاخص‌های فیزیکی شیمیایی خاک

Table 2- Mean square of the effects of tillage and residue spreading on yield, protein and nitrogen percentage of triticale plant seeds and soil physical and chemical indicators

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی (df)	عملکرد دانه Seed yield	پروتئین دانه Seed protein	نیتروژن دانه Seed nitrogen	pH	قابلیت هدایت الکتریکی EC	نیتروژن خاک Soil Nitrogen
تکرارRep	2	2.3*	9.7**	0.35**	0.21^{ns}	0.0003^{ns}	0.0005*
خاک‌ورزیTillage	2	2.6**	71.12**	2.55**	0.004^{ns}	0.14**	0.002**
خطای اصلی Ea	4	0.4	0.57	0.02	0.03	0.0055	0.0005
بقایاResidues	4	5.05**	4.1**	0.14*	0.004**	0.09**	0.001**
خاک‌ورزی× بقایا Tillage × Residues	8	0.9**	0.6^{ns}	0.023^{ns}	0.0001^{ns}	0.003^{ns}	0.00002*
خطای فرعیEb	24	0.2	0.3	0.01	0.0003	0.003	0.00001
ضریب تغییرات (٪).C.V		7.06	4.31	4.39	0.22	3.5	3.7

منابع تغییرS.O.V	درجه آزادی (df)	کربن آلی خاک Soil organic carbon	کربن/نیتروژن خاک Soil carbon/nitrogen	جرم مخصوص ظاهری Bulk density	وزن مخصوص حقیقی Apparent density	درصد تخلخل Porosity percent	ماده آلی خاک Soil organic matter
تکرارRep	2	0.001^{ns}	2.3*	0.09*	0.12*	8.8^{ns}	0.003^{ns}
خاک‌ورزیTillage	2	0.09**	0.31*	0.54**	0.26**	312.7*	0.3**
خطای اصلی Ea	4	0.0002	0.3	0.005	0.01	18.5	0.0006
بقایاResidues	4	0.08**	7.9**	0.007**	0.03**	66.2**	0.24**
خاک‌ورزی× بقایا Tillage × Residues	8	0.0012*	0.05^{ns}	0.001**	0.005^{ns}	4.57^{ns}	0.004*
خطای فرعیEb	24	0.0005	0.08	0.0001	0.003	3.6	0.001
ضریب تغییرات (٪).C.V		3.4	3.86	0.75	2.5	5.43	3.5

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیرمعنی را نشان می دهند.

*, ** and ns indicate significance at five percent, one percent and no significance levels, respectivel.

دو و افه (Du, Li & Effah, 2022) در بررسی اثرات مالچ کاه و کلش و کم‌خاک‌ورزی بر عملکرد در شـرایط محیطی گانسـو چین گزارش نمودند مالچ کاه و کلش می‌توانند محتوی مواد آلی خاک را افزایش داده و با حفظ رطوبت دمای خاک را تعدیل نموده ولی با این‌حال مسـتعد افزایش آفات و بیماری‌ها و تغییر سـاختار جامعه میکروبی خاک گردد، آن‌ها بیان کردند کاربرد مالچ باعث افزایش عملکرد از طریق افزلیش کـارایی مصـرف آب می‌گردد، کـاهش خاک‌ورزی یکپارچگی خاک را حفظ نموده که منجر به حفاظت از آب و خاک می‌شـود اما در عین حال بر عملکرد محصـول تأثیر منفی می‌گذارد. قاضـی نژاد و همکاران (Ghazinejad *et al*., 2022) در بررسـی اثر روش خاکورزی و بقایای گندم بر بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی و عملکرد ذرت دانه‌ای در منطقه دزفول اعلام کردند بیشترین عملکرد دانه ذرت در سامانه کم‌خاکورزی و حفظ بقایا حاصل شد که نسبت به سامانه بی‌خاک‌ورزی منجر به افزایش ۳۴ درصدی عملکرد محصول شد. آنها گزارش دادند، استفاده و توسعه سامانه‌های کشت حفاظتی (به‌خصـوص کم‌خاک‌ورزی) در ذرت می‌تولند به حفظ و صـیانت از منابع تولید از قبیل آب، خاک و محیط‌زیسـت کمک نماید (Ghazinejad *et al*., 2022).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات خاک‌ورزی و پخش بقایا برعملکرد، درصد پروتئین و نیتروژن دانه گیاه تریتیکاله و شاخص‌های فیزیکی شیمیایی خاک

Table 3- Comparison of the average effects of tillage and spreading of residues on yield, protein and nitrogen percentage of triticale plant seeds and physical and chemical indicators of soil

تیمارها Treatments	عملکرد دانه Seed yield ($ton.ha^{-1}$)	پروتئین دانه Seed protein (%)	نیتروژن دانه Seed nitrogen (%)	pH	قابلیت هدایت الکتریکی EC($dS.m^{-1}$)	نیتروژن خاک Soil nitrogen(%)
خاک‌ورزی Tillage						
مرسوم Conventional	6.04^{b}	11.21^{c}	2.1^{c}	7.45^{a}	1.53^{b}	0.081^{c}
کم خاک‌ورزی Reduced tillage	6.86^{a}	15.54^{a}	2.9^{a}	7.46^{a}	1.58^{b}	0.01^{a}
بی خاک‌ورزی no tillage	6.27^{ab}	13.71^{b}	2.6^{b}	7.43^{a}	1.72^{a}	0.089^{b}
بقایا residues						
شاهد Control	5.44^{c}	12.6^{c}	2.38^{c}	7.47^{a}	1.45^{d}	0.07^{e}
بقایای گندم Wheat residue	6.74^{b}	13.4^{b}	2.56^{b}	7.45^{b}	1.71^{a}	0.09^{c}
بقایای لوبیا چشم بلبلی Mung bean residue	7.31^{a}	14.4^{a}	2.74^{a}	7.42^{c}	1.61^{bc}	0.1^{a}
بقایای کنجد sesame residue	5.82^{c}	13.2^{b}	2.5^{b}	7.47^{a}	1.67^{ab}	0.08^{d}
ترکیبی combination	6.63^{b}	13.7^{b}	2.59^{b}	7.43^{c}	1.59^{c}	0.09^{b}

تیمارها Treatments	کربن آلی خاک Soil organic carbon(%)	کربن/نیتروژن خاک Soil carbon/nitrogen (%)	جرم مخصوص ظاهری Bulk density ($mg.m^{-3}$)	جرم مخصوص حقیقی Apparent density ($mg.m^{-3}$)	تخلخل Porosity percent (٪)	ماده آلی خاک Soil organic matter (%)
خاک‌ورزی Tillage						
مرسوم Conventional	0.60^{c}	7.58^{a}	1.34^{c}	2.2^{a}	39.2^{a}	1.03^{c}
کم خاک‌ورزی Reduced tillage	0.75^{a}	7.49^{a}	1.52^{b}	2.4^{b}	35.2^{a}	1.3^{a}
بی‌خاک‌ورزی no tillage	0.63^{b}	7.29^{a}	1.7^{a}	2.5^{c}	30.2^{b}	1.1^{b}
بقایا residues						
شاهد Control	0.54^{e}	7.28^{b}	1.57^{a}	2.25^{c}	30.21^{c}	0.93^{e}
بقایای گندم Wheat residue	0.78^{a}	8.83^{a}	1.49^{d}	2.33^{b}	36.12^{ab}	1.35^{a}
بقایای لوبیا چشم بلبلی Mung bean residue	0.65^{c}	6.19^{c}	1.52^{c}	2.4^{a}	36.9^{a}	1.12^{c}
بقایای کنجد sesame residue	0.62^{d}	7.55^{b}	1.53^{b}	2.35^{ab}	34.91^{b}	1.06^{d}
ترکیبی combination	0.72^{b}	7.41^{b}	1.52^{c}	2.38^{ab}	36.28^{ab}	1.25^{b}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری در سطح پنج درصد بر مبنای آزمون LSD ندارند.

Averages with common letters in each column do not have a statistically significant difference at the five percent level based on LSD's test

نیتروژن و پروتئین دانه

بررسی نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل تیمارهای خاک‌ورزی و کاربرد بقایا بر نیتروژن دانه معنی‌دار نبوده ولی اثر هر کدام به تنهایی بر این صفت معنی‌دار بوده و در تیمارخاک‌ورزی در سطح احتمال یک درصد و در تیمار کاربرد بقایا در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۲). بررسی مقایسه میانگین روش‌های مختلف خاک‌ورزی افزایش ۳۲ درصدی نیتروژن دانه در روش کم‌خاک‌ورزی نسبت به مرسوم و ۱۰/۹۱درصدی نسبت به بی‌خاک‌ورزی را نشان داد، بر این اساس بیشترین نیتروژن دانه از تیمار کم‌خاک‌ورزی (۲/۹ درصد) و کمترین از تیمار خاک‌ورزی مرسوم (۲/۱ درصد) به‌دست آمد، همچنین بررسی مقایسه میانگین نوع کاربرد بقایا نشان داد بیشترین نیتروژن دانه از تیمارکاربرد بقایای لوبیا چشم بلبلی (۲/۷۴ درصد) و کمترین (۲/۳۸ درصد) مربوط به تیمار عدم کاربرد بقایا (شاهد) می‌باشد (جدول ۳).

جدول ٤- مقایسه میانگین برهم‌کنش اثرات خاک‌ورزی و پخش بقایا بر عملکرد، درصد پروتئین و نیتروژن دانه گیاه تریتیکاله و شاخص‌های فیزیکی شیمیایی خاک

Table 4- Comparison of the average interaction between the effects of tillage and residue spreading on yield, percentage of protein and nitrogen of triticale plant seeds and physical and chemical indicators of soil

خاک‌ورزی Tillage	کاربرد بقایا Application of residues	عملکرد دانه Seed yield (ton/ha^{-1})	پروتئین دانه Seed protein(%)	نیتروژن دانه Seed nitrogen(%)	pH	قابلیت هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1})	نیتروژن خاک Soil nitrogen (%)
مرسوم Conventional	شاهد Control	5.3^{g}	9.69^{g}	1.83^{h}	7.49^{a}	1.34^{h}	0.07^{g}
	بقایای گندم Wheat residue	6.1^{ef}	11.36^{ef}	2.15^{fg}	7.45^{d-f}	1.65^{cd}	0.08^{f}
	بقایای لوبیا چشم بلبلی Mung bean residue	6.9^{b-d}	12.1^{e}	2.29^{f}	7.43^{f-h}	1.54^{ef}	0.09^{de}
	بقایای کنجد sesame residue	5.5^{fg}	10.92^{f}	2.07^{g}	7.47^{a-d}	1.58^{d-f}	0.07^{g}
	ترکیبی combination	6.4^{de}	11.97^{e}	2.27^{f}	7.43^{f-h}	1.52^{fg}	0.09^{e}
کم خاک‌ورزی Reduced tillage	شاهد Control	5.44^{fg}	14.8^{bc}	2.79^{b-d}	7.48^{ab}	1.45^{g}	0.08^{f}
	بقایای گندم Wheat residue	7.17^{bc}	15.23^{b}	2.93^{b}	7.46^{a-e}	1.7^{bc}	0.1^{c}
	بقایای لوبیا چشم بلبلی Mung bean residue	8.6^{a}	16.9^{a}	3.22^{a}	7.44^{e-g}	1.6^{d-f}	0.12^{a}
	بقایای کنجد sesame residue	5.8^{e-g}	15.21^{b}	2.88^{bc}	7.48^{a-c}	1.62^{c-e}	0.09^{cd}
	ترکیبی combination	7.32^{b}	15.52^{b}	2.89^{b}	7.45^{c-f}	1.52^{fg}	0.11^{b}
بی خاک‌ورزی No tillage	شاهد Control	5.^{fg}	13.32^{d}	2.52^{e}	7.46^{b-f}	1.56^{d-f}	0.07^{g}
	بقایای گندم Wheat residue	6.9^{b-d}	13.72^{d}	2.6^{e}	7.44^{ef}	1.8^{a}	0.09^{e}
	بقایای لوبیا چشم بلبلی Mung bean residue	6.4^{c-e}	14.2^{cd}	2.7^{c-d}	7.41^{h}	1.7^{bc}	0.1^{b}
	بقایای کنجد sesame residue	6.2^{d-f}	13.53^{d}	2.56^{e}	7.45^{d-f}	1.8^{a}	0.08^{f}
	ترکیبی combination	6.2^{d-f}	13.77^{d}	2.61^{de}	7.41^{gh}	1.75^{ab}	0.09^{cd}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری در سطح پنج درصد بر مبنای آزمون LSD ندارند.

Averages with common letters in each column do not have a statistically significant difference at the five percent level based on LSD's test

باغبانی و همکاران (Baghbani, Kadkhodaie & Modarres-Sanavy, 2016) گزارش دادند افزودن بقایای گیاهان خانواده لگوم به خاک باعث افزایش نیتروژن گیاه می‌شود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تیمارهای خاک‌ورزی و کاربرد بقایا بر پروتئین دانه معنی‌دار نمی‌باشد این در حالی است که اثر هر کدام به تنهایی بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۲).

بررسی مقایسه میانگین روش‌های مختلف خاک‌ورزی افزایش ۳۲/۲۱ درصدی پروتئین دانه تریتیکاله در روش کم‌خاک‌ورزی نسبت به مرسوم و ۱۲/۳۳ درصدی نسبت به بی‌خاک‌ورزی را نشان داد، بر این اساس بیشترین پروتئین دلنه از تیمار کم‌خاک‌ورزی (۱۵/۵۴ درصد) وکمترین از تیمار خاک‌ورزی مرسوم (۱۱/۲۱ درصد) بدست آمد، همچنین بررسی مقایسه میانگین نوع کاربرد بقایا نشان داد بیشترین پروتئین دانه از تیمار کاربرد لوبیا چشم بلبلی (۱۴/۴ درصد) بود که نسبت به تیمارهای کاربرد بقایای گندم ۷/۱۹ درصد، بقایای کنجد ۸/۷ و ترکیبی ۴/۹۸ و عدم کاربرد بقایا (شاهد) ۱۳/۳۳ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳).

آرمسین و همکاران (Armecin *et al.*, 2015) گزارش کردند کود سبز محتوای نیتروژن خاک را افزایش داده و نیتروژن را در دسترس گیاه قرار می‌دهد که از این طریق باعث افزایش رشد محصول و افزایش عملکرد می‌گردد (Armecin *et al.*, 2015).

زیبیلکس و همکاران (Zibilske *et al*., 2012) اعلام نمودند در سیستم کم‌خاکورزی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در سطح خاک و در منطقه فعالیت ریشه بهبود می‌یابد و به‌دلیل تغییر در معدنی شدن و ثبات بیشتر عناصرغذایی در خاک به‌وسیله افزایش فعالیت جمعیت میکروبی، عرضه عناصر غذایی به گیاه افزایش می‌یابد (Zibilske *et al*., 2012).

pH

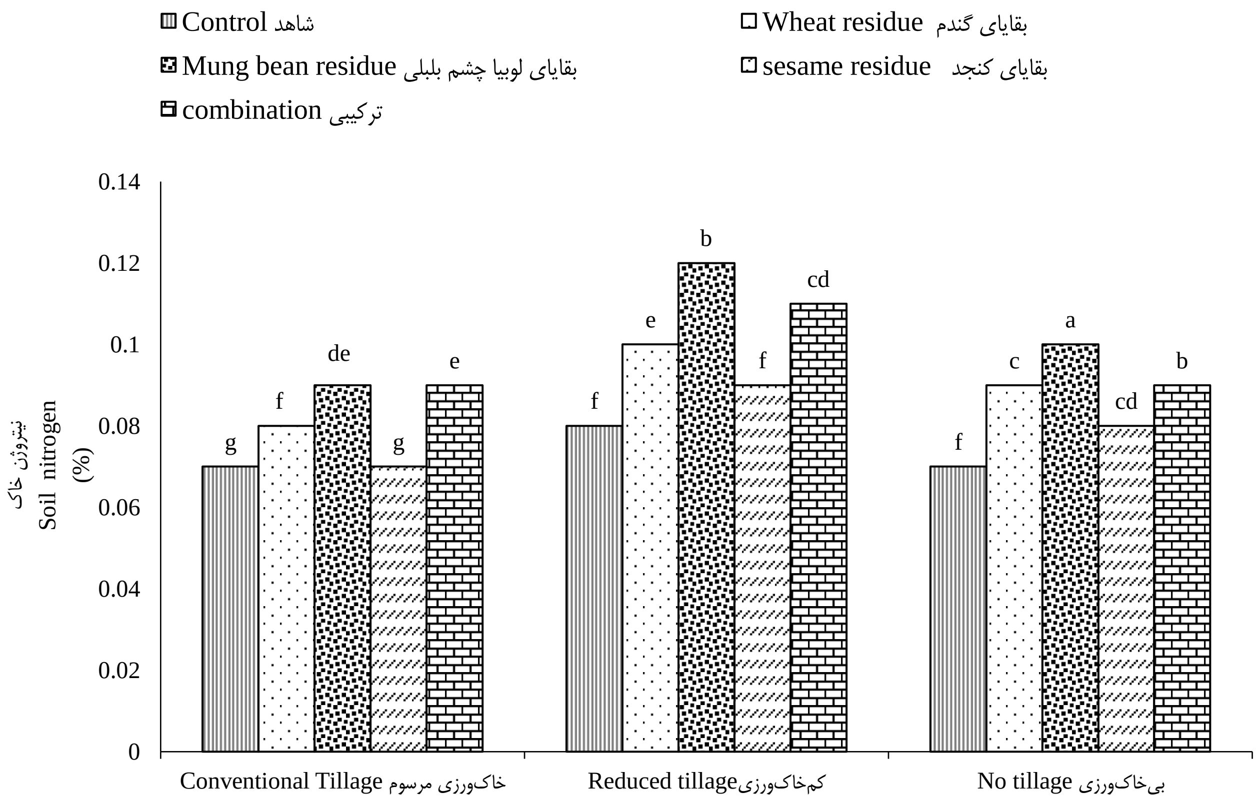
نتایج نشان داد اثر متقلبل تیمارهای خاک‌ورزی و کاربرد بقایا و اثر روش‌های خاک‌ورزی بر pH خاک معنی‌دار نمی‌باشد ولی اثر تیمار کاربرد بقایا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار نشان داد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارکاربرد بقایا بر pH خاک در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که بیشترین pH خاک (۷/۴۷) به‌طور مشابه در تیمارهای شاهد (عدم کاربرد بقایا) و کاربرد بقایای کنجد و کمترین (۷/۴۲) از تیمار کاربرد بقایای لوبیا چشم بلبلی بدست آمد که تفاوت چندانی با تیمار ترکیبی نداشت و در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد که نگهداری مقادیر مختلف بقایای گیاهی در خاک قادر به ایجاد افزایش معنی‌دار pH نبوده است که مشابه با یافته‌های آدامز و همکاران (Adams *et al*., 2020) می‌باشد. اردل و همکاران (Erdel *et al*., 2023) در بررسی شیوه‌های مختلف مدیریت خاک در برخی خاک‌ها در ترکیه گزارش دادند pH خاک تحت تأثیر تیمارهای خاک‌ورزی قرار گرفت و در تیمار بی‌خاک‌ورزی کاهش نشان داد آنها بیان نمودند کاهش pH در شرا یط بی‌خاک‌ورزی ممکن است ناشی از افزایش مواد آلی باشد. لئوگراند و ویتی (Leogrande & Vitti, 2019) گزارش دادند که محصولات اسیدی آزاد شده از تجزیه مواد آلی بر pH خاک تأثیر می‌گذارد. رومانکاس و همکاران (RomanECkas *et al*., 2009) اعلام کردند محفوظ ماندن بقایای گیاهی در سطح خاک در روش‌های حفاظتی محیطی مطلوب جهت کاهش تبخیر از سطح خاک، نفوذ آب در خاک، بهبود ساختمان خاک فراهم می‌سازد و بنابراین با اثر بروی میزان نفوذپذیری و رطوبت خاک باعث آبشوئی کاتیون‌های بازی از لایه‌های سطحی خاک به اعماق می‌گردد و در نهایت کاهش واکنش خاک در لایه‌های فوقانی خاک را در پی دارد. رحیم زاده و نوید (Rahimzadeh & Navid, 2011) گزارش دادند روش‌های خاک‌ورزی برpH خاک تأثیر معنی‌دار دارد، آنها کاهش pH خاک به مقدار جزئی در تیمار بی‌خاک‌ورزی را گزارش دادند. بالسدنت و همکاران (Balesdent *et al*., 2000) اعلام کردند خاک‌ورزی مرسوم به‌دلیل تأثیر بر فعالیت میکروارگانیسم‌ها و کربن آلی خاک موجب افزایش pH خاک می‌گردد.

قابلیت هدایت الکتریکی

بر اساس نتایج اثر متقابل خاک‌ورزی و بقایا بر روی صفت قابلیت هدایت الکتریکی معنی‌دار نبود ولی اثر هر کدام به تنهایی بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار نشان داد (جدول ۲). در بین تیمار روش‌های مختلف خاک‌ورزی، بیشترین قابلیت هدایت الکتریکی از تیمار بی‌خاک‌ورزی ($1/72ds.m^{-1}$) به‌دست آمد که نسبت به تیمار مرسوم ۱۱/۶۹ درصد و نسبت به کم‌خاک‌ورزی ۸/۴۸ درصد افزایش نشان داد. در بین تیمار کاربرد بقایای گیاهی، تیمار بدون‌کاربرد بقایا (شاهد)، کمترین قابلیت هدایت الکتریکی ($1/64ds.m^{-1}$) و تیمار کاربرد بقایای گندم بیشترین میزان ($1/71ds.m^{-1}$) را داشت (جدول ۳). قابلیت هدایت الکتریکی کمتر در سامانه خاک‌ورزی مرسوم و تا حدودی کم‌خاک‌ورزی نسبت به بی خاک‌ورزی را می‌توان به علت شخم و به هم‌خوردگی لایه سطحی خاک و شستشوی املاح محلول در خاک‌ورزی مرسوم نسبت داد. خاک‌ورزی مرسوم سبب کاهش قابلیت هدایت الکتریکی خاک نسبت به خاک‌ورزی حفاظتی گردید که علت را می‌توان به املاح محلول در اراضی شخم شده با روش مرسوم نسبت داد که به تدریج بر اثر آبیاری‌های مکرر، شسته و از دسترس خاک خارج می‌گردند. شخم زدن خاک باعث می‌شود مسیرهای موئینگی ریز تخریب شده و حرکت آب حاوی املاح از لایه‌های زیرین به لایه‌های فوقانی را کمتر خواهد نمود. گلچین و عسکری (Golchin & Asgari, 2008) اعلام کردند که عملیات زراعی همچون شخم زدن و کشت و کار در خاک‌های بکر زمانی‌که عمق آب زیرزمینی زیاد است، EC خاک را کاهش می‌دهد.

نیتروژن خاک

نتایج بیانگر آنست که برهم‌کنش خاک‌ورزی و کاربرد بقایا بر صفت نیتروژن خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۲). برهم‌کنش اثرات خاک‌ورزی و کاربرد بقایا در مورد این صفت نشان داد که بیشترین نیتروژن خاک مربوط به تیمار کم‌خاک‌ورزی با تیمار کاربرد بقایای لوبیا چشم بلبلی (۰/۱۲ درصد) و کمترین مقدار (۰/۰۷ درصد) نیز در تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم و کاربرد بقایای کنجد و عدم کاربرد بقایا (شاهد) و بی‌خاک‌ورزی با بدون کاربرد بقایا می‌باشد که در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۴، شکل ۲). نتایج نشان داد در بین روش‌های خاک‌ورزی، بیشترین نیتروژن خاک مربوط به تیمار کم‌خاک‌ورزی (۰/۰۱ درصد) و کمترین مربوط به تیمار خاک‌ورزی مرسوم (۰/۰۸۱ درصد) بود. در خصوص تیمار کاربرد بقایا، نتایج نشان داد بیشترین نیتروژن خاک (۰/۱ درصد) از کاربرد بقایای لوبیا چشم بلبلی و کمترین (۰/۰۷ درصد) از تیمار عدم کاربرد (شاهد) بدست آمد (جدول ۳).



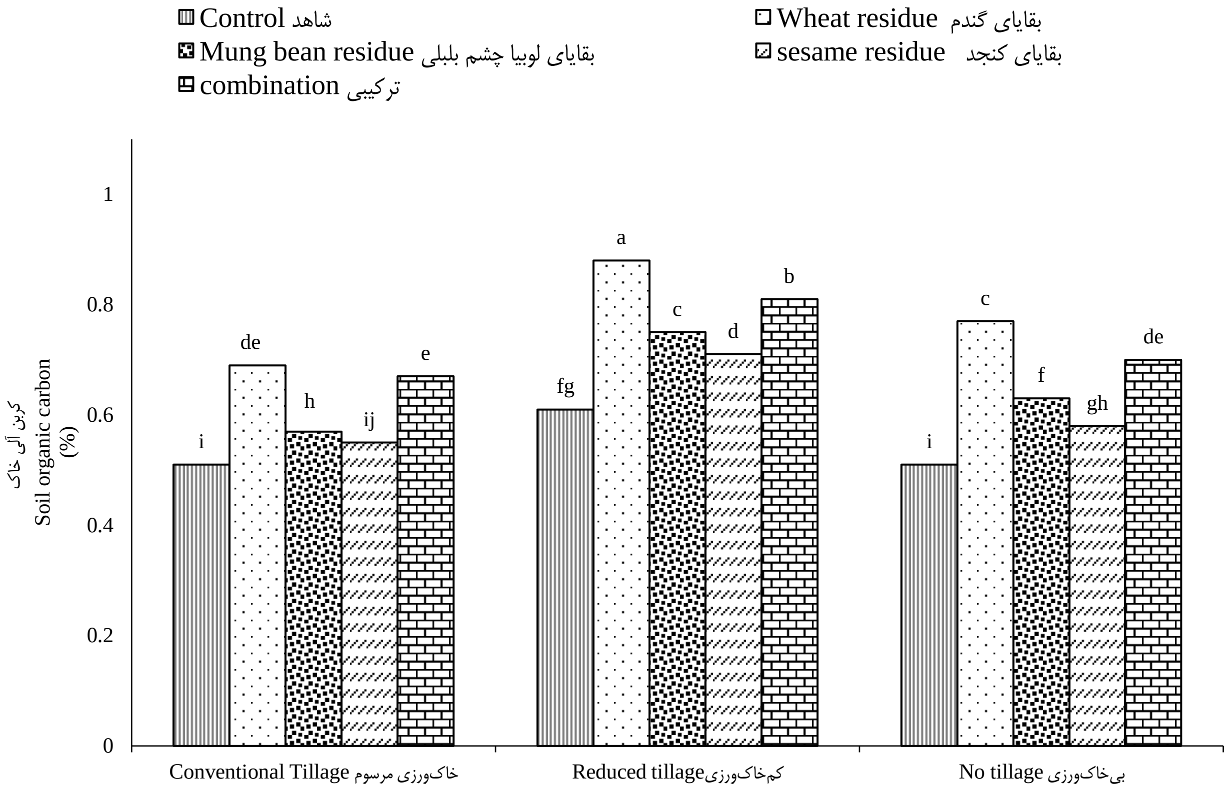
شکل ۲- مقایسه میانگین برهم‌کنش اثرات خاک‌ورزی و پخش بقایا بر درصد نیتروژن خاک

Figure 2- Comparison of the average interaction between the effects of tillage and residue spreading on soil nitrogen percentage

به‌طور کلی نقش مؤثر اجرای سامانه‌های حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی رایج، از نظر افزایش میزان و کربن آلی خاک ممکن است ناشی از برهم زدن و تخریب کمتر ساختار فیزیکی و شیمیایی خاک باشد. اجرای کم‌خاک‌ورزی یا حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی رایج، سبب افزایش پایداری خاکدانه‌ها،افزایش نفوذپذیری، بهبود محتوی رطوبتی خاک، فراهمی مواد آلی و عناصر غذایی می‌شود (Thierfelder & Wall, 2010). به‌طور کلی، مکانیسم جلوبرنده افزایش نیترون کل خاک از طریق عملیات بی‌خاک‌ورزی یا مالچ می‌تواند به‌وسیله افزایش برگشت ماده آلی و بهبود فعالیت میکروبی مرتبط با تثبیت نیتروژن توضیح داده شود، با توجه به نتایج بدست آمده برگرداندن بقایای گیاهی باعث گردیده نیتروژن مورد نیاز گیاه فراهم و در نتیجه علاوه بر افزایش عملکرد گیاه، مازاد نیتروژن هم به‌صورت پروتئین در دانه ذخیره شود. گزارش شده است که با افزایش نیتروژن، مقدار پروتئین دانه گندم و کل بوته گندم افزایش می‌یابد (Siyadat & Moradi Telavat, 2011). تغییرات در نیتروژن کل و نیتروژن معدنی ممکن است تحت تأثیر کود مصرفی، فصل رشد و شرایط اقلیمی نیز قرار گیرد. افزایش آن در تیمار بی‌خاک‌ورزی ممکن است در ارتباط با بهبود شرایط محیطی برای تثبیت نیتروژن توسط باکتری‌های تثبیت کننده باشد (Ranjbar *et al.*, 2018).

کربن آلی خاک

بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش اثر متقابل خاک‌ورزی و کاربرد بقایا بر روی صفت کربن آلی خاک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج اثرات متقابل خاک‌ورزی و پخش بقایا نشان داد بیشترین مقدار کربن آلی خاک از برهم‌کنش کم‌خاک‌ورزی و پخش بقایای گندم (۰/۸۸) و کمترین مقدار (۰/۵۱) هم از بر هم‌کنش تیمار خاک‌ورزی مرسوم و عدم کاربرد بقایا بود که تفاوت معنی‌داری با بی‌خاک‌ورزی و عدم کاربرد بقایا نداشت و در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۵، شکل ۲).



شکل ۳- مقایسه میانگین برهم‌کنش اثرات خاک‌ورزی و پخش بقایا بر درصد کربن آلی خاک

Figure 3- Comparison of the average interaction between the effects of tillage and residue spreading on soil organic carbon percentage

در بررسی اثر روش‌های خاک‌ورزی، بیشترین کربن آلی خاک مربوط به تیمار کم‌خاک‌ورزی (۰/۷۵ درصد) و کمترین مربوط به تیمار خاک‌ورزی مرسوم (۰/۶ درصد) بود. از نظر تیمار کاربرد بقایای گیاهی، بیشترین کربن آلی خاک به‌ترتیب از تیمار کاربرد بقایای گندم (۰/۷۸ درصد) و ترکیبی (نصف بقایای گندم + نصف بقایای لوبیا چشم بلبلی) به مقدار ۰/۷۲ درصد حاصل شد. کمترین مقدار به‌دست آمده نیز مربوط به تیمار شاهد (عدم کاربرد بقایا) (۰/۵۴ درصد) بود (جدول ۳). نتایج به‌دست آمده با یافته‌های اکثر محققین مطابقت دارد. هوبس (Hobs, 2008) گزارش داد که کربن آلی در سامانه‌های بی‌خاک‌ورزی بیشتر از خاک‌ورزی مرسوم است. کاهش برهم‌خوردگی خاک تحت سیستم بی‌خاک‌ورزی تجزیه ماده آلی خاک را کند نموده و باعث تثبیت کربن در ریز دانه ها می‌شود، که متعاقباً کاهش فرسایش خاک را در پی دارد. همچنین اعلام شده که با افزایش دمای خاک میزان تجزیه مواد آلی افزایش می‌یابد. این مسئله به خصوص در مناطق گرمسیری (مانند کشور ما) بسیار مهم است. باقی گذاشتن بقایای گیاهی روی سطح خاک در سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی باعث کاهش دما می شود بنابراین از میزان هدررفت ماده آلی جلوگیری می‌نماید (Hobs, 2008). کومار و همکاران (Kumar *et al.*, 2018) در بررسی اثرات خاک‌ورزی، بقایای گیاهی و سطوح نیتروژن بر پویایی کربن آلی خاک، بهره‌وری و کیفیت دلنه گندم در شمال غربی هند گزارش دادند شیوه‌های کشاورزی حفاظتی به‌طور قابل توجهی بر محتوی کربن آلی خاک تأثیر گذاشت، صرف‌نظر از حفظ بقایا گندم کاشته شده در کرت‌های بدون بقایا تا ۳۶/۹ درصد در خاک سطحی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم افزایش نشان داد، همچنین کاربرد بقایا در بی‌خاک‌ورزی باعث افزایش ۲۴/۱ درصدی در محتوی کربن آلی خاک نسبت به تیمارهای بدون بقایا گردید.

کربن/نیتروژن (C/N)

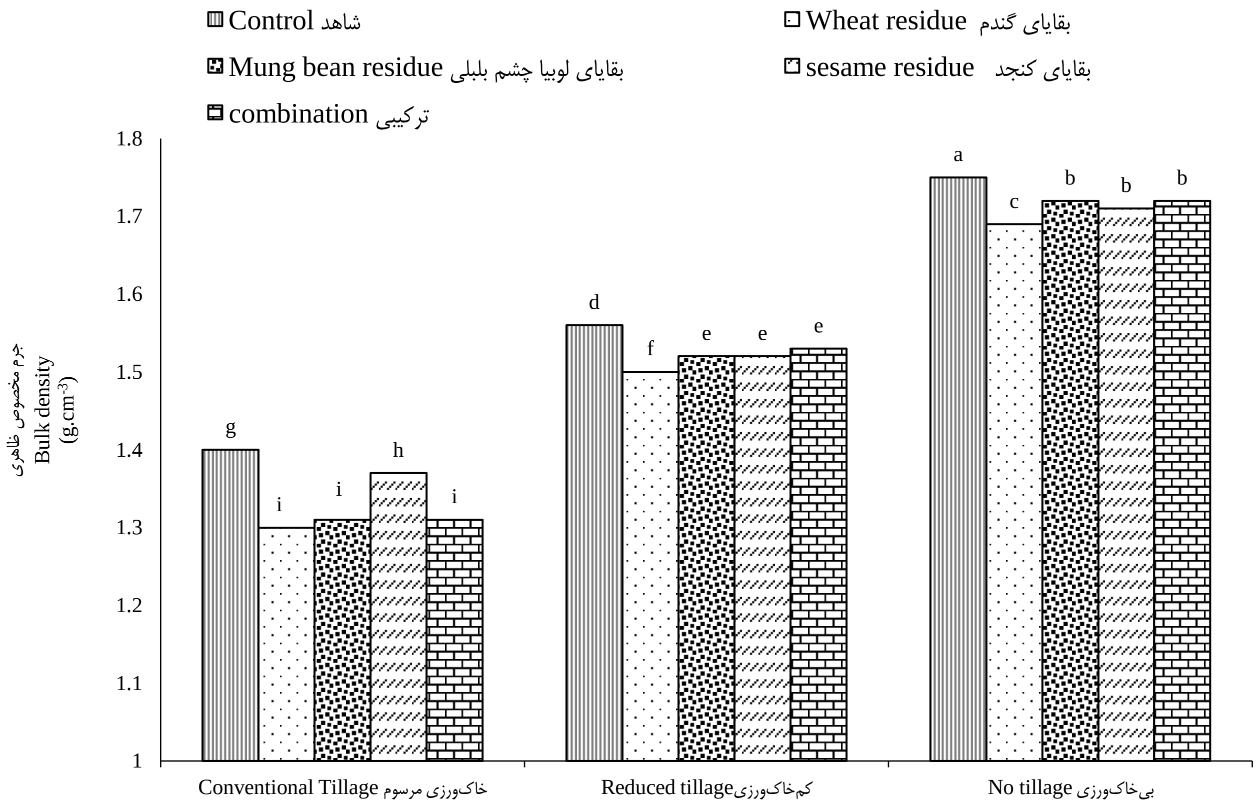
بر اساس نتایج اثر متقابل خاک‌ورزی و بقایا بر روی نسبت C/N معنی‌دار نمی‌باشد، همچنین تجزیه واریانس نشان داد اثر تیمار

خاک‌ورزی بر این صفت در سطح احتمال ۵ درصد و اثر کاربرد بقایا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که در بین سطوح مختلف خاک‌ورزی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و همه در یک گروه قرار گرفتند، بیشترین نسبت C/N (۷/۵۸) در تیمارخاک‌ورزی مرسوم و کمترین (۷/۲۹) در تیمار بی‌خاک‌ورزی مشاهده گردید، در بین سطوح مختلف بقایا، کاربرد بقایای گندم بیشترین (۸/۸۳ درصد) مقدار را به خود اختصاص داد، این در حالی بود که کمترین مقدار (۶/۱۹) از تیمار کاربرد بقایای لوبیا چشم بلبلی بدست آمد (جدول ۳). برهم‌کنش اثرات خاک‌ورزی و کاربرد بقایا نشان داد که بیشترین نسبت C/N (۹/۲) از تیمار کم‌خاک‌ورزی و با کاربرد بقایای گندم وکمترین مقدار (۶/۰۲) از تیمار بی‌خاک‌ورزی و کاربرد بقایای لوبیا چشم بلبلی بدست آمد (جدول ۵).

جرم مخصوص ظاهری

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر متقلبل خاک‌ورزی و بقایا بر روی جرم مخصوص ظاهری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۲). بررسی برهم‌کنش اثرات خاک‌ورزی و کاربرد بقایا نیز نشان داد کمترین جرم مخصوص ظاهری خاک (۱/۳g/cm^3) مربوط به تیمار خاک‌ورزی مرسوم و کاربرد بقایای گندم و لوبیا چشم بلبلی و ترکیبی بود که در یک گروه قرار گرفتند. بیشترین جرم مخصوص ظاهری خاک (۱/۷۵g/cm^3) از تیمار بی‌خاک‌ورزی و کاربرد بقایای لوبیا چشم بلبلی به‌دست آمد (جدول ۵، شکل ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین جرم مخصوص ظاهری از تیمار بی‌خاک‌ورزی (۱/۷g/cm^3) و کمترین مربوط به تیمار خاک‌ورزی مرسوم (۱/۳۴g/cm^3) بود. جرم مخصوص ظاهری در روش بی خاک‌ورزی ۲۳/۶۸ درصد و ۱۱/۱۸ درصد بیشتر از روش‌های خاک‌ورزی مرسوم و کم‌خاک‌ورزی بود (جدول ۳).

در خاک‌ورزی مرسوم وجود گاو آهن برگردان‌دار به‌دلیل ایجاد کلوخه و برگرداندن خاک سطحی، خلل و فرج زیادی را در خاک سطحی ایجادکرده که در نتیجه منجر به کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک شده است. یکی از دلایل افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک در سامانه بدون خاک‌ورزی این است که در این سامانه فقط در هنگام کاشت لایه سطحی خاک به هم می‌خورد و در اعماق پایین‌تر نه تنها به هم خوردگی ایجاد نمی‌شود.



شکل ٤- مقایسه میانگین برهم‌کنش اثرات خاک‌ورزی و پخش بقایا بر جرم مخصوص ظاهری

Figure 4- Comparison of the average interaction between the effects of tillage and residue spreading on Bulk density

بلکه در اثر تردد ماشین‌ها در سطح مزرعه به میزان زیادی فشردگی خاک تشدید می‌شود و جرم مخصوص ظاهری خاک به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد (Azim zadeh *et al*., 2002). نتایج حاصل از این آزمایش با نتایج کوچکی و همکاران (Koocheki *et al*., 2020) مطابقت دارد. اثر اعمال کاربرد بقایا نشان داد که بیشترین جرم مخصوص ظاهری خاک ($1/57 g/cm^3$) از تیمار بدون کاربرد بقایا (شاهد) و کمترین ($1/49 g/cm^3$) از تیمار کاربرد بقایای گندم بدست آمد (جدول ۳). در تحقیقی که غلامی و همکاران (Gholami *et al*., 2013) در منطقه چناران انجام دادند اثر سه تیمار خاک‌ورزی شامل خاک‌ورزی متداول (شخم با گاوآهن برگردان‌دار)، کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی روی جرم مخصوص ظاهری و تخلخل و عملکرد گندم آبی بررسی شد و تیمار روش متداول بیش‌ترین عملکرد و کمترین جرم مخصوص ظاهری را به خود اختصاص داد. محقق اعلام کرد که در شرایط رطوبتی یکسان تیماری که دارای تخلخل بیشتر می‌باشد می‌تواند عملکرد بیشتری حاصل کند که با نتایج حاصل از این آزمایش هم‌خوانی دارد (Gholami *et al*., 2013). بحرپور و همکاران (Bahrpour *et al*., 2015) درمطالعه موردی در منطقه معتدل سرد استان خراسان رضوی اثر مدیریت بقایا و خاک‌ورزی حفاظتی بر فشردگی خاک را ارزیابی نمودند نتایج این پژوهش نشان داد که روش بدون خاک‌ورزی با افزایش جرم مخصوص ظاهری شاخص مخروطی بالاتری را نسبت به سایر روش‌های خاک‌ورزی نشان داد. چقازردی و همکاران (Chaghazardi *et al*., 2015) با مطالعه تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد گندم دیم در اقلیم‌های سرد، معتدل و نیمه‌گرمسیری استان کرمانشاه مشاهده کردند که سیستم‌های بی‌خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی رایج درصد رطوبت حجمی و جرم مخصوص ظاهری خاک را بهبود دادند، و بالا بودن درصد رطوبت حجمی خاک نسبت به سیستم رایج را، برگردان نکردن خاک و باقی گذاشتن مقداری از بقایای گیاه قبلی در سطح خاک بیان کردند که بازدارندهٔ فرسایش و کاهش دهنده تبخیر سطحی می‌باشد (Chaghazardi *et al*., 2015).

درصد تخلخل

اندازه، شکل و میزان پیوستگی خلل و فرج خاک بر میزان نفوذپذیری و قابلیت ذخیره آب و هوا مؤثر می‌باشد، این خلل و فرج در اثر عوامل غیر زنده همچون شخم و عوامل زنده مانند رشد ریشه و حرکت و فعالیت موجودات خاک‌زی در خاک به وجود می‌آیند (Kay & Vanden Bygaart, 2002) تغییرات در نظام‌های خاک‌ورزی خصوصیات این خلل و فرج را دچار تغییر می‌نماید. وجود بقایای گیاهی در خاک و تأثیری که بر روی جمعیت موجودات زنده خاک دارد باعث جلوگیری از این تغییرات می‌شود (Kay & Vanden Bygaart, 2002). بر اساس تجزیه واریانس داده‌ها اثر متقابل روش‌های خاک‌ورزی و کاربرد بقایا بر درصد تخلخل خاک معنی‌دار نمی‌باشد ولی اثر هر کدام از تیمارهای مورد بررسی به تنهایی معنی‌دار بوده که برای تیمار خاک‌ورزی در سطح احتمال ۵ درصد و برای تیمار کاربرد بقایا در سطح احتمال یک بدست آمده است. نتایج مقایسه میانگین در جدول ۳ نشان داد که بیشترین درصد تخلخل خاک به‌ترتیب در تیمار خاک‌ورزی مرسوم (۳۹/۲ درصد) و کم‌خاک‌وری (۳۵/۲ درصد) که در یک گروه قرار گرفتند و کمترین درصد تخلخل نیز در تیمار بی‌خاک‌ورزی (۳۰/۲ درصد) بود. مطابق جدول ۳، کاربرد بقایای لوبیا چشم بلبلی (۳۶/۹ درصد) بیشترین درصد و تیمار شاهد (عدم کاربرد بقایا) کمترین (۳۰/۲۱ درصد) تخلخل خاک را داشت. دلیل این موضوع بقایای بیشتر در خاک بوده که باعث تخلخل بیشتر شده است. بقایای گیاهی در خاک باعث افزایش مواد آلی شده و مواد آلی خاک باعث دانه‌بندی بهتر خاک می‌شود. بهبود ساختمان خاک و خاکدانه‌سازی، تخلخل آن را افزایش داده و باعث کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک می‌شود (Azimzadeh *et al*., 2002).

بر اساس تحقیقات محققین بیشترین درصد تخلخل خاک در لایه صفرتا ۱۵ سانتی‌متری در شخم با گاوآهن قلمی و کمترین درصد تخلخل در سیستم بدون شخم مشاهده شده است. همچنین محققین تأثیر سیستم بدون شخم و شخم برگردان‌دار در لایه صفر تا ده سانتی‌متری روی تخلخل خاک معنی‌دار نبوده است ولی توزیع منافذ درشت در سیستم بدون شخم یکنواخت‌تر می‌باشد (Mehboobi & Numan Fawzi, 1992). دهقان و الماسی (Dehghan & Almasi, 2009) گزارش دادند جرم مخصوص ظاهری خاک در خاک‌ورزی مرسوم بیشتر از کم خاک‌ورزی است هرچه جرم مخصوص ظاهری بیشتر باشد فشردگی خاک بیشتر است در نتیجه تخلخل و تهویه خاک کمتر می‌باشد که با نتایج این آزمایش همخوانی دارد (Dehghan & Almasi, 2009).

ماده آلی خاک

نتایج نشان داد اثر متقابل خاک‌ورزی و بقایا بر روی ماده آلی خاک در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بررسی برهم‌کنش اثرات خاک‌ورزی و کاربرد بقایا نشان داد که بیشترین ماده آلی خاک (۱/۵۳ درصد) از تیمار کم‌خاک‌ورزی و با کاربرد بقایای گندم بود (جدول ۵، شکل ۴).

جدول ۵- مقایسه میانگین برهم‌کنش اثرات خاک‌ورزی و پخش بقایا بر عملکرد، درصد پروتئین و نیتروژن دانه گیاه تریتیکاله و شاخص‌های فیزیکی شیمیایی خاک

Table 5- Comparison of the average interaction between the effects of tillage and residue spreading on yield, percentage of protein and nitrogen of triticale plant seeds and physical and chemical indicators of soil

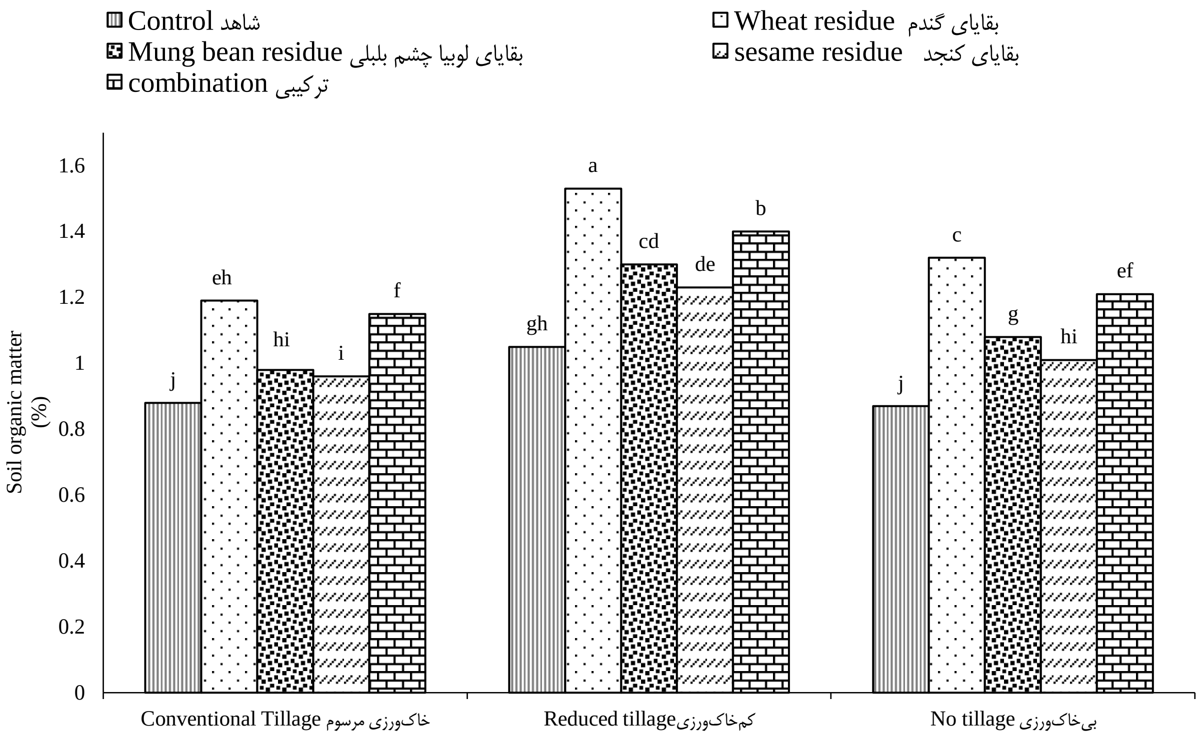
خاک‌ورزی Tillage	کاربرد بقایا Application of residues	کربن آلی خاک Soil organic carbon (%)	کربن /نیتروزن خاک Soil carbon/nitrogen (%)	جرم مخصوص ظاهری Bulk density ($mg.m^{-3}$)	وزن مخصوص حقیقی Apparent density ($mg.m^{-3}$)	تخلخل Porosity percent ٪	ماده آلی خاک Soil organic matter ٪
مرسوم Conventional	شاهد Control	0.51^{j}	7.52^{b}	1.4^{g}	2.16^{e}	35.23^{cd}	0.88^{j}
	بقایای گندم Wheat residue	0.69^{de}	8.89^{b}	1.3^{i}	2.16^{e}	39.87^{ab}	1.19^{eh}
	بقایای لوبیا چشم بلبلی Mung bean residue	0.57^{h}	6.28^{d}	1.31^{i}	2.25^{de}	41.59^{a}	0.98^{hi}
	بقایای کنجد Sesame residue	0.55^{ij}	7.71^{b}	1.37^{h}	2.22^{de}	38.12^{bc}	0.96^{i}
	ترکیبی Combination	0.67^{e}	7.51^{b}	1.31^{i}	2.25^{de}	41.6^{a}	1.15^{f}
کم خاک‌ورزی Reduced tillage	شاهد Control	0.61^{fg}	7.32^{bc}	1.56^{d}	2.3^{cd}	31.85^{e}	1.05^{gh}
	بقایای گندم Wheat residue	0.88^{a}	9.02^{a}	1.5^{f}	2.35^{bc}	36.02^{c}	1.53^{a}
	بقایای لوبیا چشم بلبلی Mung bean residue	0.75^{c}	6.29^{d}	1.52^{e}	2.4^{b}	36.68^{bc}	1.3^{cd}
	بقایای کنجد Sesame residue	0.71^{d}	7.45^{bc}	1.52^{e}	2.35^{bc}	35.22^{cd}	1.23^{de}
	ترکیبی Combination	0.81^{b}	7.36^{bc}	1.53^{e}	2.4^{b}	36.26^{c}	1.4^{b}
بی خاک‌ورزی No tillage	شاهد Control	0.51^{i}	7^{c}	1.75^{a}	2.3^{cd}	23.55^{f}	0.87^{j}
	بقایای گندم Wheat residue	0.77^{c}	8.59^{a}	1.69^{c}	2.5^{a}	32.47^{de}	1.32^{c}
	بقایای لوبیا چشم بلبلی Mung bean residue	0.63^{f}	6.02^{d}	1.72^{b}	2.55^{a}	32.43^{de}	1.08^{g}
	بقایای کنجد Sesame residue	0.58^{gh}	7.51^{b}	1.71^{b}	2.5^{a}	31.4^{e}	1.01^{hi}
	ترکیبی Combination	0.7^{de}	7.37^{bc}	1.72^{b}	2.5^{a}	31^{e}	1.21^{ef}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری در سطح پنج درصد بر مبنای آزمون LSD ندارند.

Averages with common letters in each column do not have a statistically significant difference at the five percent level based on LSD's test.

در بین سطوح مختلف خاک‌ورزی، بیشترین ماده آلی خاک (۱/۳ درصد) در تیمار کم‌خاک‌ورزی که نسبت به تیمار بی‌خاک‌ورزی ۱۶/۶۷ درصد و نسبت به خاک‌ورزی مرسوم ۲۳/۱۸ درصد افزایش نشان داده است، در بین سطوح مختلف پخش بقایا، کاربرد بقایای گندم، بیشترین مقدار (۱/۳۵ درصد) و کمترین (۰/۹۳ درصد) مربوط به تیمار عدم کاربرد بقایا (شاهد) می‌باشد (جدول ۳). در سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی با حضور بقایای گیاهی در سطح مزرعه موجبات بهبود ماده آلی خاک، کاهش فرسایش آبی و افزایش محتوی رطوبت خاک را در پی دارد. محققان بیان کرده‌اند که افزایش تجمع مواد مغذی در سطح خاک‌های تحت سیستم بی‌خاک‌ورزی اغلب به تجمع بقایای گیاهی روی سطح خاک و اختلاط ضعیف آن با خاک نسبت داده می‌شود که باعث افزایش ماده آلی خاک نیز می‌شود (De Santiago *et al.*, 2008).

اردل و همکاران (Erdel *et al*, 2023) با بررسی اثرات شیوه‌های مختلف مدیریت خاک بر برخی از خاک‌ها گزارش دادند گیاهان پوششی و سیستم‌های خاک‌ورزی به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر ویژگی‌های خاک انتخابی همچون pH، قابلیت هدایت الکتریکی، پایداری خاکدانه‌ها فسفر قابل دسترس و جرم مخصوص ظاهری تأثیر گذاشت. در مطالعه‌ای که سیستم‌های خاک‌ورزی مورد بررسی قرار گرفتند مشخص شد که بی‌خاک‌ورزی باعث افزایش ۱۷ درصدی ماده آلی خاک در مقایسه با سیستم مبتنی بر شخم گردید (Nurse *et al.*, 2018).



شکل ۵- مقایسه میانگین برهم‌کنش اثرات خاک‌ورزی و پخش بقایا بر درصد ماده آلی

Figure 5- Comparison of the average interaction between the effects of tillage and residue spreading on soil organic matter percentage

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشـــان داد عملکرد دانه در روش کم‌خاک‌ورزی ۱۲/۵ درصـد و ۷/۶۳ درصـد بیشـتر از روش مرسـوم و بی خاک‌ورزی بود. بر اســـاس یافته‌های این آزمایش روش‌های حفاظتی باعث بهبود میزان نیتروژن خاک و ماده آلی خاک که خصـوصـیاتی مهم در بحث خصـوصـیات شـیمیایی خاک می‌باشـند گردیده اسـت که این تأثیر در عملکرد دانه اثر مثبت خود را نشـان داد، این در حالی اسـت که تداوم استفاده از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی منجر به دستیابی به عملکرد پایدار می‌گردد، گزارش‌های ضـد و نقیضـی در رابطه با تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد گیاهان زراعی وجود دارد که می‌توانند ناشـی از شـرایط متفاوت اجرای آزمایش از لحاظ اقلیمی، خاک، گیاه، تناوب زراعی، شـرایط اقتصـادی و سـایر موارد باشـد. البته خاک‌ورزی حفاظتی بیشتر از دیدگاه حفاظت خاک مطرح می‌باشد که در مقایسه با خاک‌ورزی رایج برتری دارند که اثرات آن‌ها در مطالعات طولانی مدت قابل ملاحظه‌تر می‌باشد. شناخت درست منابع خاک و مدیریت صحیح آن به‌منظور بهره‌وری اصـولی، برای فراهم سـاختن زمینه پیشـبرد اهداف و برنامه ریزی های کشاورزی و منابع طبیعی کشور، از اهمیت و اولویت ویژه‌ای برخوردار است. استفاده و توسعه سیستم‌های کشت حفاظتی می‌تواند به حفظ و صـیانت از منابع تولید از قبیل آب و خاک و محیط‌زیسـت کمک نماید. نتایج نشـان داد خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسـه با خاک‌ورزی مرسـوم، سـبب بهبود خصـوصـیات خاک گردید. تغییرات مرتبط با شـاخص‌های فیزیکی شـیمیایی خاک در روش کم‌خاک‌ورزی به مراتب نسبت به دو روش بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم بیشـتر و سبب بهبود این ویژگی‌ها حتی در زمان محدود شده است. علاوه براین نتایج نشان داد اثر متقابل تیمارهای مورد بررسی بر صـفات جرم مخصـوص ظاهری، ماده آلی، کربن آلی، نیتروژن خاک معنی‌دار می‌باشد. در مجموع از دیدگاه حفاظت خاک نتایج این آزمایش برتری روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسـه با روش خاک‌ورزی مرسوم را نشان می‌دهد، لذا با توجه به معنی‌دار نشدن برخی از صفات مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود آزمایشات مشابهی در مدت زمان بیشتر انجام و در صـورت معنی‌دار بودن این پارامترها اثرات آن بر عملکرد و اجزای عملکرد تریتیکاله یا سایر گیاهان خانواده غلات جهت دستیابی به کشاورزی پایدار بررسی گردد. پیشنهاد می‌شود از آنجایی که رشد و نمو گیاهان زراعی به خصـوصـیات خاک مرتبط می‌باشـد، تداوم و

استمرار استفاده از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی به منظور تاثیر این خاک‌ورزی بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک در دراز مدت جهت نیل به عملکرد پایدار انجام گیرد. از آنجایی‌که نتایج خاک‌ورزی حفاظتی در سال‌های اول مشهود نمی‌باشد و گاهی حتی اثرات منفی آن مشاهده می‌شود و با توجه به اینکه فرسایش خاک‌های زراعی عمدتا به‌دلیل کاربرد شیوه‌های نامناسب خاک‌ورزی بوده که کاهش مواد آلی خاک که یکی از مهمترین شاخص‌های شیمیایی خاک بوده و نقش مهمی در حساسیت خاک به عوامل مخرب دارد را در پی خواهد داشت. تهیه بستر کاشت به روش خاک‌ورزی حفاظتی با حفظ بقایای گیاهی و افزایش میزان مواد آلی درخاک و به حداقل رسلندن به هم خوردگی خاک علاوه بر کاهش فرسایش خاک به بهبود ظرفیت نگهداری آب خاک نیز کمک می‌نماید. البته نکته حائز اهمیت این‌ست که در انتخاب نوع عملیات خاک‌ورزی در هر منطقه باید شرایط آب و هوایی و عوامل اقلیمی، ویژگی‌های خاک و شرایط کشاورزان مد نظر قرار گیرد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از معاونت پژوهش و فن‌آوری دانشگاه شهید چمران اهواز جهت تأمین هزینه این پژوهش که قسمتی از قرارداد پژوهلنه SCU.AA1400.309 می‌باشد سپاسگزاری می‌گردد.

References

1. Adams, A.M., Gillespie, A.W., Dhillon, G.S., Kar, G., Miniellya, C., Koala, S., Ouattara, B., Kimaro, A.A., Bationo, A., Schoenau, J.J., & Peak, D. (2020). Long-term effects of integrated soil fertility management practices on soil chemical properties in the Sahel. *Geoderma*, *366*, 114207 17 p. ISSN:1872-6259. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114207
2. Afzali Groh, H., Naqvi, H., Rostami, M.A., & Najafinejad, H. (2018). The effect of conservation tillage and wheat residue management on some soil properties and corn yield. *Soil Research*, *33*(1), 1-11. https://doi.org/10.22092/IJSR.2019.119050
3. Ahmadi Moghadam, P., Eftekhari, L., Mardani Karani, A., & Khodavardilo, H. (2015). Determining the amount of plant residues, physical and mechanical properties of soil in different tillage systems. *Agricultural Machines*, *6*(1), 102-113. https://doi.org/10.22067/jam.v6i1.32700
4. Ahmad-Mayi, A., Ibrahim, Z.R., & Abdurrahman, A.S. (2014). Effect of foliar spray of humic acid, ascorbic acid, cultivar and their interaction on growth of olive (*Olea european* L.) transplant cvs. khithairy and sorany. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, *7*(4), 18-30.
5. Armecin, R.B., Seco, M.H., Caintic, P.S., & Milleza, E.J. (2015). Effect of leguminous cover crops on the growth and yield of abaca. *Industrial Crops and Products 21*, 317-323. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2004.04.028
6. Arriaga, F., & Balkcom, K. (2015). Benefits of conservation tillage on rainfall and water management. Proceeding of the 2015 Georgia water Resources Conference. 3 p.
7. Arriaga, F.J., Guzman, J., & Lowery, B. (2017). Conventional agricultural production systems and soil functions. In Soil health and intensification of agroecosytems pp. 109-125. Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805317-1.00005-1
8. Asadi, M.E., Feyzbakhsh, M.T., & Razzaghi, M.H. (2016). Study of silage maize yield and yield components under different managements of tillage. *Journal of Water and Soil Conservation*, *23*(3), 151-170. https://doi.org/10.22069/jwfst.2016.3191
9. Asenso, E., Li, J., Hu, L., Issaka, F., Tian, K., Zhang, L., Zhang, L., & Chen, H. (2018). Tillage effects on soil biochemical properties and maize grown in latosolic red soil of southern China. *Applied and Environmental Soil Science*. Article ID 8426736, 10 pages. https://doi.org/10.1155/2018/8426736
10. Azim Zadeh, S., Kuchaki, A., & Pala, M. (2002). Study on the effect of plow different methods on bulk density, porosity, soil moisture and wheat yield. *Iranian Journal Crop Science*, *4*, 218-233. https://sid.ir/paper/57086/en
11. Bahrami, A. (2019). The role of conservation tillage systems in sustainable agricultural and rural development. *Rural Development Strategies*, *6*(2), 181-188. https://doi.org/10.22048/rdsj.2020.187385.1799
12. Baghbani, A., Kadkhodaie, A., & Modarres-Sanavy, S.A.M. (2016). Effects of wheat and bean residues along with zinc sulfate application on some qualitative and quantitative characteristices of wheat. *Ecophysiology of Crop Plants*, *10*(39), 555-566. https://sid.ir/paper/182933/en
13. Bahrpour,V., Rouhani, A., Abbaspourfard, M.H., & Agh Khani, M.H. (2015). Evaluation of the effect of residue management and conservation tillage on soil compaction, a case study in the cold temperate region of Khorasan Razavi province, 10th National Congress of Agricultural Machinery Engineering (Biosystem) and Iran Mechanization, Mashhad. https://civilica.com/doc/563465
14. Balesdent, J., Chenu, C., & Balabane, M. (2000). Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Till Research*, *53*, 215-230. https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00107-5
15. Bay Bordi, M. (1993). *Soil physics*. Tehran University Publications. 676 p.

16. Castellini, M., & Domenico, V. (2012). Impact of conventional and minimum tillage on soil hydraulic conductivity in typical cropping system in Southern Italy. *Soil and Tillage Research*. https://doi.org/10.1016/j.still.2012.04.008
17. Chaghazardi, H.R., Jahnsuz, M.R., Ahmadi, A., & Gorji, M. (2015). Effect of using different tillage methods on dryland wheat yield under cold, moderate and semi-warm climatic conditions of Kermanshah province. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *46*(4), 605-618. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2015.56810
18. Cooper, R., HamaAziz, Z., Hiscock, K., Lovett, A., Vrain, E., Dugdale, S., Sünnenberg, G., Dockerty, T., Hovesen, P., & Noble, L. (2020). Conservation tillage and soil health: Lessons from a 5-year UK farm trial (2013–2018). *Soil and Tillage Research*, *202*, 104648. https://doi.org/10.13140/ RG.2.2.32753.51046
19. Dehghan, E., & Almasi, M. (2009). Comparison of some technical indexes on conventional tillage with reduced tillage methods. *Journal Water Soil Science*, *13*(47), 679-690. http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-1086-en.html
20. De Santiago, A., Quintero, J.M., & Delgado, A. (2008). Long-term effects of tillage on the availability of iron, copper, manganese, and zinc in a Spanish Vertisol. *Soil and Tillage Research*, *98*(2), 200-207. https://doi.org/10.1016/j.still.2008.01.002
21. Devi, S., Gupta, C., Jat, S.L., & Parmar, M.S. (2017). Crop residue recycling for economic and environmental sustainability: The case of India. *Open Agriculture*, *2*(1), 486-494. https://doi.org/10.1017/S001447971000030X
22. Du, C., Li, L., & Effah, Z. (2022). Effects of straw mulching & reduced tillage on crop production and environment: A review. *Water*, *14*(16), 2471. https://doi.org/10.3390/w14162471
23. Erdel, E., & Barik, K. (2023). Effects of different soil management practices on some soil properties in a semi-arid region, Igdir, Turkey. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *25*(3), 733-745. https://doi.org/10.22034/jast.25.3.733

24.Fink, J.R., Inda, A.V., Bavaresco, J., Sánchez-Rodríguez, A.R., Barrón, V., Torrent, J., & Bayer, C. (2016). Diffusion and uptake of phosphorus, and root development of corn seedlings, in three contrasting subtropical soils under conventional tillage or no-tillage. *Biology and Fertility of Soils*, *52*, 203-210. https://doi.org/10.1007/s00374-015-1067-3

25. Ghazinejad, M., Monjezi, N., Rahnama Ghahfarokhi, A., & Sheikhdavoodi, M.J. (2022). Effect of tillage method and wheat residues on physical productivity of water and corn yield in Dezful city. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *32*(1), 17-32. https://doi.org/10.22034/saps.2021.43900.2604
26. Golchin, A., & Asgari, H. (2008). Land use effects on soil quality indicators in northeastern Iran. *Australian Journal of Soil Research*, *46*, 27-36. https://doi.org/10.1071/SR07049
27. Gupta, N., Yadav, S., Humphreys, E., Kukal, S., Balwinder, S., & Eberbach, P. (2016). Effects of tillage and mulch on the growth, yield and irrigation water productivity of a dry seeded rice-wheat cropping system in north-west India. *Field Crops Research*, *196*, 219–236. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.07.005
28. Gholami, G., Askari, H.R., Zainli, A., & Saidifar, Z. (2012). The effect of different tillage systems on bulk density, and porosity of the soil and the performance of the yield. *Proceedings of the Second National Conference on Sustainable Development Agriculture and healthy environment, Hamadan*.
29. Hobbs, P.R. (2007). Conservation agriculture: what is it and why is it important for future sustainable food production. *Journal American Soil Agronomy*, *145*, 127–137. https://doi.org/10.1017/S0021859607006892
30. Hobbs, P.R., Sayre, K., & Gupta, R. (2008). The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *363*(1491), 543-555. https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2169
31. Houshyar, E., & Esmailpour, M. (2020). The impacts of tillage, fertilizer and residue managements on the soil properties and wheat production in a semi-arid region of Iran. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *19*(3), 225-232. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.10.001
32. Husson, O., Brunet, A., Babre, D., Charpentier, H., Durand, M., & Sarthou, J.P. (2018). Conservation agriculture systems alter the electrical characteristics (Eh, pH and EC) of four soil types in France. *Soil and Tillage Research*, *176*, 57-68. https://doi.org/10.1016/j.still.2017.11.005
33. Kay, B.D., & Vanden Bygaart, A.J. (2002). Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil and Tillage Research*, *66*, 107-118. https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00019-3
34. Kumar, V., Naresh, R.K., Kumar, S., Kumar, S., Kumar, S., Singh, S.P., & Mahajan, N.C. (2018). Tillage, crop residue, and nitrogen levels on dynamics of soil labile organic carbon fractions, productivity and grain quality of wheat crop in Typic Ustochrept soil. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *7*(1), 598-609.
35. Koocheki, A., Nasiri Mahalati, M., & Azimzadeh, J. (2020). Effect of different tillage systems on wheat (*Triticum aestivum* L.) yield and some soil physical characteristics in a fallow-wheat rotation under rainfed condition. *Journal of Agroecology*, *12*(2), 299-317. https://doi.org/10.22067/jag.v12i2.52175
36. Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*. *7*(5), 5875–5895. https://doi.org/10.3390/su7055875
37. Leogrande, R., & Vitti, C. (2019). Use of organic amendments to reclaim saline and sodic soils: a review. *Arid Land Research and Management*, *33*(1), 1-21. https://doi.org/10.1080/15324982.2018.1498038
38. Liu, Y.L., Chang, K.T., Stoorvogel, J., Verburg, P., & Sun, C.H. (2012). Evaluation of agricultural ecosystem

services in fallowing land based on farmers' participation and model simulation. *Paddy and Water Environment, 10*, 301-310. https://doi.org/10.1007/s10333-011-0282-2

39. Liu, C., & Cooper, R.J. (2000). Humic substances influence creeping bentgrass growth. *Golf Course Management*, 49-53.
40. Mehboobi, A., & Numan Fawzi, R.L. (1992). Effect of twenty-eight years of tillage and soil type in Ohio. Chosen Papers of the 3rd Iran Soil Science Congress. Geological Society of Iran.
41. Mirzavand, J. (2018). Changes in soil organic matter and crop yield in conventional and conservation tillage systems in wheat-corn rotation in Zarghan region of Fars. *Agricultural Knowledge and Sustainable Production, 29*(2), 121-133. https://civilica.com/doc/1592639.
42. Mukherjee, A., & Lal, R. (2015). Short-term effects of cover cropping on the quality of a Typic Argiaquolls in Central Ohio. *Catena*, *131*, 125-129. https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.02.025
43. Nunes, M.R., van Es, H.M., Schindelbeck, R., Ristow, A.J., & Ryan, M. (2018). No-till and cropping system diversification improve soil health and crop yield. *Geoderma*, *328*, 30-43. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.04.031
44. Nouraein, M., Bakhtiarzadeh, R., Janmohammadi, M., Mohammadzadeh, M., & Sabaghnia, N. (2019). The effects of micronutrient and organic fertilizers on yield and growth characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Helia*, *42*(71), 249-264. https://doi.org/10.1515/helia-2019-0015
45. Page, K., Dang, Y., & Dalal, R. (2020). The ability of conservation agriculture to conserve soil organic carbon and the subsequent impact on soil physical, chemical, and biological properties and yield. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 4*(31), 17. https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00031
46. Page, A.L., Miller, R.H., & Keeney, D.R. (1982). Methods of soil analysis. Part II. *Chemical and microbiological. Soil Sicence Socity American Journal*, *64*, 918-926.
47. Rahimzadeh, R., & Navid, H. (2011). Different tillage methods impacts on a clay soil properties and wheat production in rotation with chickpea under rainfed condition. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *21*(1), 29-41. https://doi.org/20.1001.1.24764310.1390.21.1.3.1
48. Ranjbar, A., Rahimikhoob, A., Ebrahimian, H., & Varavipour, M. (2018). Estimation of nitrogen nutrition index using aquaCrop and HYDRUS simulation models during maize growing period. *Iranian Journal of Soil Research, 32*(3), 283-303. (In Persian). https://doi.org/10.22092/ijsr.2018.117807
49. RomanECkas, K., RomanECkien, R., Arauskis, E., Pilipaviius, V., & Sakalauskas, A. (2009). The effect of conservation primary and zero tillage on soil bulk density, water content, sugar beet growth and weed infestation. *Agronomy Research, 7*(1), 73-86.
50. Sanchez Sanchez, A., Sanchez, A.J., Juarez, M., Jorda, J., & Bermudez, D. (2006). Improvement of iron uptake in table grape by addition of humic substances. *Journal of Plant Nutrition*, *29*(2), 259-272. https://doi.org/10.1080/01904160500476087
51. Sharma, S., Thind, H.S., Sidhu, H.S., Jat, M.L., & Parihar, C.M. (2019). Effects of crop residue retention on soil carbon pools after 6 years of rice–wheat cropping system. *Environmental Earth Sciences*, *78*, 1-14. https://doi.org/10.1007/s12665-019-8305-1
52. Siyadat S.A., & Moradi Telavat, M. (2011). Practical aspects of organic farming. 2 th Ed. *Publication of Agricultural Extension and Education Tehran*. (In Persian)
53. Thierfelder, C., & Wall, P.C. (2010). Rotation in conservation agriculture systems of Zambia: effects on soil quality and water relations. *Experimental Agriculture*, *46*(3), 309-325. https://doi.org/10.1017/S001447971000030X
54. Verhulst, N., Govaerts, B., Verachtert, E., Castellanos-Navarrete, A., Mezzalama, M., Wall, P., & Sayre, K.D. (2010). Conservation agriculture, improving soil quality for sustainable production systems. *Advances in Soil Science: Food Security and Soil Quality*, 1799267585, 137-208. https://doi.org/10.1201/ EBK 1439800577-7
55. Walkly, A., & Black, I.A. (1934). An Experimentation of Data. 39pp.
56. O'Brien, P.L., & Daigh, A.L. (2019). Tillage practices alter the surface energy balance–A review. *Soil and Tillage Research*, *195*, 104354. https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104354
57. Zhang, L., Wang, J., Fu, G., & Zhao, Y. (2018). Rotary tillage in rotation with plowing tillage improves soil properties and crop yield in a wheat-maize cropping system. *PLoS One*, *13*(6), e0198193. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198193
58. Zhang, S., Chen, X., Jia, S., Liang, A., Zhang, X., Yang, X., & Zhou, G. (2015). The potential mechanism of long-term conservation tillage effects on maize yield in the black soil of Northeast China. *Soil and Tillage Research*, *154*, 84-90. https://doi.org/10.1016/j.still.2015.06.002
59. Zibilske, M., Bradford, & Smart, J.R. (2012). Conservation tillage induced changes in organic carbon, total nitrogen, and avilable phosphorus in a semi-arid alkaline subtropical soil. *Soil Tillage Research*, *66*, 153-163. https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00023-5